

870117

---

---

# UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA

Incorporada a la Universidad Nacional Autónoma de México

---

---

ESCUELA DE INGENIERIA

402  
Ejemplar



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

"PROYECTO DE UTILIZACION DE LA ENERGIA EOLICA PARA  
PRODUCIR ENERGIA ELECTRICA CUANDO FALLE  
EL SUMINISTRO NORMAL EN UNA GRANJA"

---

---

## TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A

OTON SCHLIE GUZMAN

GUADALAJARA, JALISCO

1989

---

---



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# I N D I C E

	PAG.
INTRODUCCION . . . . .	1
ANTECEDENTES . . . . .	2
CAPITULO I	
EL VIENTO COMO RECURSO ENERGETICO . . . . .	8
1.1. LA CIRCULACION DEL PLANETA . . . . .	9
1.2. LA ENERGIA DEL VIENTO . . . . .	11
1.3. SELECCION DEL EMPLAZAMIENTO . . . . .	14
1.4. OTROS FACTORES CONDICIONANTES . . . . .	17
CAPITULO II	
PRINCIPIOS DE AERODINAMICA DE LOS GENERADORES EOLICOS	19
2.1. PRINCIPIOS DE AERODINAMICA . . . . .	20
2.2. CARACTERISTICAS DE LOS ROTORES . . . . .	27
2.3. NUMERO DE PALAS . . . . .	28
2.4. DIMENSIONES . . . . .	30
CAPITULO III	
DISEÑO ELECTRICO DE LA GRANJA . . . . .	32
3.1. PLANO ELECTRICO . . . . .	33
3.2. CUADRO DE CARGAS . . . . .	52
3.3. DIAGRAMA UNIFILAR . . . . .	53
3.4. BANCO DE BATERIAS . . . . .	54
3.5. CAPACIDAD DEL GENERADOR . . . . .	61
3.6. PROTECCIONES, TIPO DE CABLE Y AISLANTES . . . . .	68
3.7. SELECCION DEL TRANSFORMADOR (INVERSOR) . . . . .	72

CAPITULO IV	
SELECCION DEL GENERADOR . . . . .	74
4.1. CUADRO COMPARATIVO DE LOS DISTINTOS GENERADO-- RES . . . . .	75
4.2. SELECCION DEL GENERADOR . . . . .	77
4.3. DATOS TECNICOS . . . . .	74
CONCLUSIONES . . . . .	80
BIBLIOGRAFIA . . . . .	81

## INTRODUCCION

Desde siglos atrás el hombre ha utilizado la fuerza del viento como una fuente de energía para facilitar sus labores; para esto construyó grandes molinos, grandes y pequeñas embarcaciones y muchas otras aplicaciones que tuvieron mayor o menor importancia.

En la actualidad la energía del viento llamada también energía eólica, ha tenido grandes avances, ya que resulta atractivo disponer de combustible gratis. También debido a la necesidad de buscar nuevas alternativas energéticas, el hombre ha perfeccionado los sistemas y a la vez se ha encontrado que este tipo de energía puede ser una alternativa muy importante en el futuro.

El presente trabajo tratará de ser una solución a los problemas que se presentan en una granja situada en la ciudad de San Cristóbal de las Casas en el estado de CHIAPAS, utilizando la energía eólica para producir energía eléctrica cuando falle el suministro normal, evitando paros que puedan perjudicar la producción y por consiguiente la economía de sus propietarios.

Aunque el costo inicial de operación representa una dificultad, ya que el generador sería importado, los beneficios que traerá a mediano y largo plazo serán muy considerables.

## ANTECEDENTES

La energía eólica ha sido utilizada desde épocas remotas, y no se sabe a ciencia quien o quienes fueron los primeros en hacerlo.

Los antiguos egipcios utilizaban la fuerza del viento para impulsar sus embarcaciones de vela por el río Nilo.

El documento histórico más antiguo que se conoce sobre la navegación a vela es un grabado egipcio del cuarto o quinto milenio antes de Cristo.

Los molinos de viento se conocieron desde el tercer milenio antes de Cristo, probablemente en la antigua Mesopotamia.

Los primeros datos sobre la utilización de la energía eólica que no se refiera a la navegación data del año 1700 a.C. y corresponde a los proyectos de irrigación del emperador Hamurabi.

Las máquinas eólicas más antiguas que se conocen tenían una finalidad religiosa, y fueron de uso corriente en la zona del Tibet y Mongolia desde el siglo II a. C.

Existe una máquina neumática al parecer impulsada por el viento atribuida a Herón de Alejandría (sig. II d. C.). Esta máquina conocida como el "Aneurion", debía funcionar como una especie de órgano y aparece descrita en un libro sobre sistemas de medidas de Herón, del que sólo se conserva una copia en mal estado.

El primer molino de viento con cierta aplicación es el molino Persa de eje vertical. Se empleaba para moler grano y fue de uso corriente en las planicies de -- Sijistan, en la antigua Persia, varios siglos antes de -- nuestra era. Posteriormente se fabricaron otros molinos\_ que aunque fueron de utilidad, su diseño era muy elemental y su fabricación muy tosca.

En el extremo oriente, los Chinos utilizaban desde tiempo inmemorial unos molinos llamados "pancomonas", que se usaban para bombear agua; también eran de eje vertical y sus palas estaban construídas a base de telas sujetas a largueros de madera.

Los molinos de eje horizontal surgieron por primera vez en el área de la antigua Persia para bombeo de -- agua. La posición del rotor en los molinos de eje horizontal es más adecuada para mover una noria sin tener que variar la dirección de la fuerza motora mediante engranes.

De esta manera empieza la proliferación de los molinos de viento, llegando a Europa, aparentemente traído\_ por las cruzadas que venfan de oriente.

En Europa el molino de viento aparece a mediados -- del siglo XII. A partir de este siglo se pueden encontrar innumerables documentos históricos relacionados con molinos, en las áreas de Bretaña, Inglaterra y Países Bajos.

A pesar de que la utilización de los molinos de -- viento llegó a generalizarse en toda Europa, durante mucho tiempo, desde el punto de vista tecnológico, su evolución fue muy lenta y los molinos eran de aspecto rústico\_

y poco eficientes. Hubo que esperar hasta el siglo XV para que los molinos de tipo torre y los de poste hueco die ran un impulso efectivo a los molinos de viento, resolviendo parte de las dificultades técnicas de forma que pu dieran llegar a convertirse en una de las más importantes fuentes de energía.

La evolución de los molinos de viento se produce sin discontinuidades y a finales de la edad media los sistemas eólicos e hidráulicos son de uso común en la mayoría de los pueblos europeos.

A lo largo del siglo XVI son innumerables los diseños y proyectos relacionados con máquinas eólicas. La mayoría de ellos nunca llegaron a construirse, pero los dibujos y grabados que se conservan demuestran unos conocimientos técnicos que ya nada tienen que ver con las épocas anteriores. Son de destacar los trabajos publicados por Agrícola, ingeniero en la corte del emperador Carlos V, que diseñó diversos sistemas de bombeo, molinos de eje vertical, e incluso una sierra movida por energía eólica.

A finales del siglo XVI los molinos de viento se utilizan para las aplicaciones más diversas. En Francia e Inglaterra se emplean en la obtención de la sal, facilitando la evaporación del agua de mar. En 1582 se construyeron en Holanda el primer molino de aceite y cuatro años más tarde el primero dedicado a moler pasta de papel.

A partir del siglo XVII el molino de viento se emplea a gran escala para bombeo de agua. En 1608 y 1620, los Holandeses desecaron el polder Beemster mediante 26 molinos. En Inglaterra el primer molino de drenaje se



construyó en 1538 siendo muy comunes a partir de entonces.

En el siglo XVIII hay mejoras tecnológicas. En toda Europa se había impuesto el molino tipo torre de eje horizontal y sólo en Polonia se siguieron desarrollando las turbinas de eje vertical. En este siglo se empezaron a publicar los primeros tratados teóricos sobre molinos de viento. Ya no eran simples descripciones sobre diferentes tipos de máquinas, sino estudios en profundidad sobre el comportamiento aerodinámico de los rotores, sobre sistemas de regulación automática o de orientación.

En la segunda mitad del siglo XIX comienza a aparecer la nueva generación de turbinas eólicas; son máquinas más sencillas y susceptibles de fabricar en serie. Su aplicación se reduce a zonas rurales donde se utilizan exclusivamente para bombear agua. Estas máquinas son rotores multipala acoplados a una bomba de pistón. Años más tarde, en 1855, Stewart Perry fabricaría un modelo con álabes metálicos que llegaría a convertirse en el molino de viento más extendido de cuantos hayan existido.

Pese a los avances tecnológicos que se habían logrado para entonces, no fue sino hasta las primeras décadas del siglo XX cuando se tuvieron los conocimientos suficientes para aplicar a los rotores eólicos los perfiles aerodinámicos que se habían desarrollado para la fabricación de las alas y las hélices de los aviones. Los mismos científicos que habían elaborado las teorías aerodinámicas para usos aeronáuticos sentaron las bases teóricas de los modernos aerogeneradores. Prandtl y Betz, científicos Alemanes demostraron analíticamente que el rendimiento de los rotores aumentaba con la velocidad de rotación

y que ningún sistema eólico podía superar el 60% de la energía contenida en el viento.

A pesar de la mayor eficacia aerodinámica y de adaptación como generadores de electricidad de las nuevas turbinas, las aplicaciones y el aprovechamiento del viento como recurso energético decayeron, ya que los combustibles fósiles y en particular el petróleo, se había ido imponiendo como energético insustituible.

En 1973 y como consecuencia del embargo del petróleo ocurrido a raíz del conflicto árabe-israelí, se inicia otro período en el campo del aprovechamiento eólico como fuente de energía, aunque en esta ocasión compartiendo con la energía solar.

Dada la situación, la mayoría de los países occidentales que se han visto afectados por la crisis del petróleo, han preparado nuevos programas de investigación, con el fin de optimizar al máximo esta fuente de energía en un plazo no superior a los 20 años.

El programa más importante de desarrollo de grandes y pequeñas plantas eólicas se ha llevado a cabo en los EE.UU. en los últimos diez años. Desde 1973 el departamento de energía se ha encargado de dirigir los trabajos de investigación. Se diseñaron y construyeron tres tipos de generadores: El MOD-0, El MOD-1, y el MOD-2 de 100kW, 2MW, y 2.5MW, respectivamente, ocupándose el centro de investigación Lewis de la NASA, de su coordinación.

Paralelamente a la construcción de estas plantas, se han llevado a cabo varios proyectos de investigación -

en muchos países, con el fin de optimizar la tecnología de las turbinas.

En países como Suecia, Dinamarca, Alemania, Francia, Inglaterra, que tienen una tradición en este campo desde muchos años atrás, van a la vanguardia en estos desarrollos, y existen compañías que al igual que en los EE.UU. fabrican una considerable variedad de turbinas eólicas para utilizarlas en distintas aplicaciones.

**CAPITULO I**

**EL VIENTO COMO RECURSO ENERGETICO**

## 1.1. LA CIRCULACION DEL PLANETA.

El viento es una consecuencia de la radiación solar. Las diferencias de temperatura en distintos puntos del planeta generan variaciones de presión, por lo que el aire, como cualquier gas, se mueve desde las zonas de alta presión a las de baja presión.

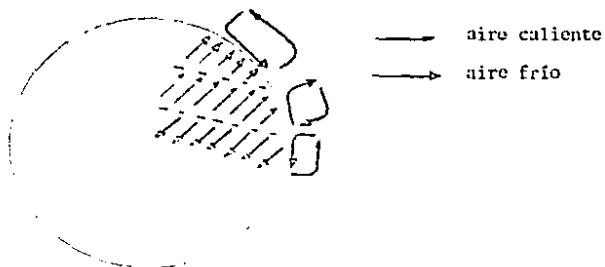
En toda la tierra existen distintos tipos de temperatura, esto es debido a que el sol no da con la misma intensidad en el ecuador que en los polos; además, en la superficie terrestre la temperatura no es la misma en el mar que en tierra.

En una tierra sin rotación, las diferencias de presión entre la zona del ecuador y la zona polar producirían un movimiento circulatorio del aire. El aire caliente sube a las capas altas de la atmósfera, siendo reemplazado por aire proveniente de los polos, más frío; el aire caliente a su vez se desplazaría hacia los polos por las capas altas de la atmósfera, complementando el círculo.

Si consideramos el movimiento de rotación de la tierra, el problema es más complicado. En el hemisferio norte, el movimiento del aire en las capas altas de la atmósfera tiende a desviarse hacia el este y en las capas bajas tiende a desviarse hacia el oeste. En el hemisferio sur ocurre lo contrario.

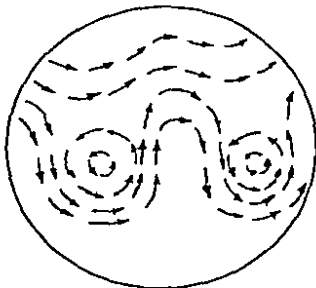
Así el ciclo que aparecía en un planeta estático ahora se subdivide. El aire que asciende en la zona cálida del ecuador se dirige hacia el polo, desviándose hacia el este a medida que avanza hacia el norte.

Al llegar a la zona subtropical, su componente -- transversal es demasiado elevada y descendiendo, volviendo al ecuador por la superficie (Fig. 1).



Por encima de este ciclo subtropical se forma otro de características semejantes, pero ahora es el aire cálido que ha descendido en la zona subtropical el que se deplaza por la superficie terrestre hasta que alcanza la zona subpolar, en donde vuelve a ascender enlazado con el ciclo polar.

Este tipo de circulación más complicado que el anterior, todavía se ve perturbado por la formación de torbellinos que se generan y que se mueven independientemente. Estos torbellinos transportan grandes masas de aire frío hacia el sur, alterando las condiciones climáticas - (Fig. 2).



## 1.2. LA ENERGIA DEL VIENTO

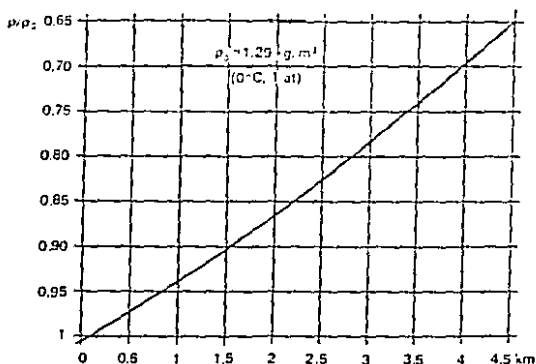
Para nuestro caso nos interesa saber el contenido energético que el viento pueda tener.

La energía cinética de una masa de aire que se des-  
plaza está determinada por la "Ley del Cubo" que dice:

$$E = 1/2 \quad \Lambda \quad v^3$$

Siendo:  $E$  = energía por unidad de tiempo (W, vatios)  
 $\Lambda$  = área interceptada de la masa de aire ( $m^2$ )  
 $\rho$  = densidad del aire ( $kg/m^3$ )  
 $v$  = velocidad del viento ( $m/s$ )

La energía del viento depende de la densidad del  
aire y de su velocidad (Fig. 3). Como en cualquier gas,  
la densidad varía con la temperatura y la presión y tam-  
bién con la altura sobre el nivel del mar (Fig. 4).



$\rho_0$  = Densidad del  
aire a  $0^\circ C$  y  
1 ATM = 1.29  
 $kg/cm^3$

$\rho$  = Densidad del  
aire a una  
altura dese-  
da.

Para poder entender mejor lo que es la energía del viento, o sea la energía eólica, diremos que ésta aprovecha parte de la radiación solar que es absorbida por la atmósfera y transformada en energía cinética. Se estima que la energía contenida en los vientos es aproximadamente el 2 por ciento del total de la energía solar que alcanza la tierra, lo que supone un  $2.5 \times 10^{12}$  tec / año (toneladas equivalentes de carbón al año). Aunque en la práctica, sólo podría ser utilizada una parte muy pequeña de esa cantidad, la energía eólica reúne buenas características para un aprovechamiento rentable.

De todas las energías renovables, la solar y la eólica son las que se encuentran mejor distribuidas, lo que supone una importante ventaja para un aprovechamiento en gran escala. Desde el punto de vista económico, la producción en masa de aerogeneradores eólicos es la clave para que los precios resulten competitivos con otras clases de energía.

La mayor dificultad de las aplicaciones de tipo solar y eólico radica en la irregularidad de su producción energética, que nos obliga a disponer de costosos sistemas de almacenamiento para adaptar su suministro a las exigencias de la demanda.

En el campo de producción de electricidad a gran escala, las plantas convencionales como lo son las de tipo hidráulico, térmico, etc., resultan más competitivas que las de tipo eólico ya que éstas tienen mayor potencia; sin embargo, la ventaja de utilizar combustible gratuito como lo es el viento, nos puede compensar a la larga los altos costos de instalación.



En nuestro caso, que es una aplicación de uso doméstico, la aplicación de la energía eólica resulta más competitiva y se tienen mayores posibilidades de éxito, ya que los inconvenientes de las plantas de pequeño tamaño, se convierten en ventajas al poder ser instaladas en zonas donde la energía eléctrica es nula o falla continuamente.

La fabricación de máquinas aerogeneradoras no requiere de sofisticadas técnicas y está al alcance de países no industrializados.

### 1.3. SELECCION DEL EMPLAZAMIENTO.

De una manera rápida, dado que la velocidad del viento es nuestra fuente de energía, se puede suponer que los emplazamientos más adecuados para la instalación de nuestra máquina eólica es aquella en donde sopla más fuerte el viento. Sin embargo hay que tener en cuenta las características operacionales de las distintas aeroturbinas, para que teniendo los datos de velocidad media del viento podamos escoger la aeroturbina más adecuada.

Todas las máquinas eólicas requieren de una velocidad mínima de viento, por debajo de la cual no genera suficiente impulso para arrancar. Una vez ya funcionando la máquina eólica se acelera a medida que aumenta la velocidad del viento, hasta que éste llega a una velocidad en la que se alcanzan las condiciones ideales de funcionamiento.

Para esta velocidad de viento se diseña especialmente la máquina, y se obtiene máximo rendimiento. Esta velocidad de diseño es en la mayoría de los casos un valor aproximado a la velocidad media del viento en el lugar del emplazamiento elegido.

Cuando la velocidad del viento es mayor a la de diseño de la aeroturbina, el rendimiento aerodinámico disminuye, desperdiándose parte de la energía. En la mayoría de las modernas aeroturbinas, el exceso de energía en el viento con velocidades mayores a las de diseño se pierde en su totalidad por motivos de regulación y control.

Por otra parte, las máquinas eólicas se construyen con limitación de velocidad de viento; si éste es mayor,-

la máquina se desconectará por motivos de seguridad.

En conclusión, para obtener un mejor aprovechamiento eólico, hay que elegir cuidadosamente la velocidad de diseño de la aeroturbina, y procurar que en el emplazamiento exista un elevado valor medio en la velocidad del viento y que éste sople con regularidad.

El emplazamiento en el que se basará la realización de este trabajo, se hará en la ciudad de San Cristóbal de las Casas en el estado de CHIAPAS y para ello se han recogido los siguientes datos:

VIENTO ANUAL	-----	SUR A NORTE
VELOCIDAD DEL VIENTO	-----	7.8 m/s
ALTITUD SOBRE EL NIVEL DEL MAR	--	2200 mts.
PRECIPITACION ANUAL	-----	1185 mm
INDICE DE ARIDEZ	-----	58 (húmedo)
TEMPERATURA PROMEDIO	-----	14.4°C con variaciones de 7.7°C a 21.3°C

Estos datos son el promedio de las mediciones hechas durante todo el año.

Como podemos ver en datos de esta tabla, las velocidades de los vientos en los distintos meses del año son de suficiente fuerza y muy constantes, lo que lo hace ideal para hacer un emplazamiento eólico. (Datos proporcionados por la S.A.R.H.).

Se ha elegido una pequeña granja en el municipio de San Cristóbal de las Casas en el estado de CHIAPAS para realizar este emplazamiento teniendo en cuenta que es

una zona suburbana que no tendrá construcciones grandes - que puedan afectar la circulación del viento y la eficiencia de nuestro aerogenerador durante muchos años. También se eligió esta granja, por el hecho de que en esta - zona el suministro eléctrico es un poco deficiente y las fallas de suministro de energía son constantes, ya sea - por interrupciones por parte de la compañía, vandalismo o por descargas eléctricas provenientes de la atmósfera, - que dañan el sistema. Por estos motivos y para tener una máxima eficiencia en la producción de la granja se realiza esta investigación.

Hay que tener en cuenta que este emplazamiento no será de funcionamiento continuo, sino que entrará en operación cuando el suministro de energía eléctrica de la - compañía suministradora falle por alguna de las causas ya mencionadas.

#### 1.4. OTROS FACTORES CONDICIONANTES.

Como ya hemos visto los factores principales para realizar un emplazamiento eólico, son que exista una velocidad de viento promedio fuerte y constante. Pero también existen otros factores que debemos tener en cuenta al momento de realizar la instalación.

a).- Deberá la torre estar en un lugar accesible y adecuado para anclar la torre donde estará la aeroturbina; este espacio no deberá contar con árboles u obstáculos -- cercanos que puedan perturbar el buen funcionamiento de la máquina.

b).- Deberá contar con suficiente espacio para poder realizar los mantenimientos (preventivos y correctivos) correspondientes sin ningún problema.

c).- Cercana a la torre, no deberá tener una construcción importante como una prevención en caso de una falla en la estructura de la torre.

d).- Se deberá contar con un cuarto cerrado pero ventilado para instalar el banco de baterías.

e).- En lo posible, realizar toda la instalación eléctrica oculta y subterránea.

f).- Dentro del diseño, localizar el banco de baterías en un lugar lo más cercano de las cargas posibles para evitar al máximo las caídas de tensión.

g).- Hay que tener en cuenta, que como toda máquina

hecha por el hombre, ésta sufre desgastes mecánicos y --  
eléctricos y por lo mismo necesitará de una persona que --  
tenga los conocimientos adecuados para instalar piezas de  
reposición. (Capacitar a un electricista).

h).- Un factor muy importante viene representado --  
por la altura de la estructura; ésta no deberá tener ni --  
menor ni mayor altura de la que se especifica por el fa--  
bricante. Esto es porque a menor altura el aerogenerador  
no alcanzará las revoluciones suficientes debido a que el  
viento sufre una fuerza contraria a su movimiento, que es  
la de rozamiento con el suelo, y a mayor altura la fuerza  
del viento puede ser tan fuerte que podría dañar a nues--  
tro aerogenerador. (Los datos técnicos se verán más ade--  
lante).

## CAPITULO II

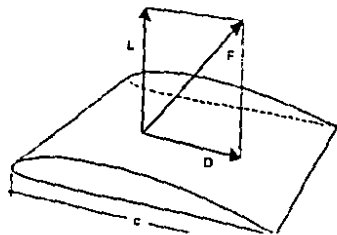
### PRINCIPIOS DE AERODINAMICA DE LOS GENERADORES EOLICOS

## 2.1. PRINCIPIOS DE AERODINAMICA.

En este capítulo no pretenderemos diseñar el rotor de una aeroturbina, sino simplemente tocaremos los puntos más relevantes de la aerodinámica de éste, y la teoría elemental para poder llegar a un entendimiento claro y preciso de cómo funciona un aerogenerador.

Haciendo un poco de historia diré que hasta el siglo pasado, las palas de los molinos de viento se diseñaban en base a conocimientos empíricos; no fue sino en las primeras décadas de este siglo que se dispuso de una teoría aerodinámica que permitió comprender el comportamiento de las palas cuando están sometidas a la fuerza del viento.

Para poder entender mejor, empezaré explicando primero la aerodinámica de una ala de avión que se mueve horizontalmente en aire tranquilo. Para empezar primero diremos que la velocidad del viento será la del avión y las fuerzas aerodinámicas que se presentan sobre un determinado segmento del ala pueden descomponerse en una fuerza vertical de sustentación, que es la que mantiene al avión en el aire, y en otra fuerza de resistencia en la dirección del avance. Fig. No. 5).



L = sustentación

D = resistencia  $L = 1/2 V^2 c C_l$

$\rho$  = densidad del aire

c = cuerda del perfil

$C_l$  = coeficiente de sustentación

$C_d$  = coeficiente de resistencia.

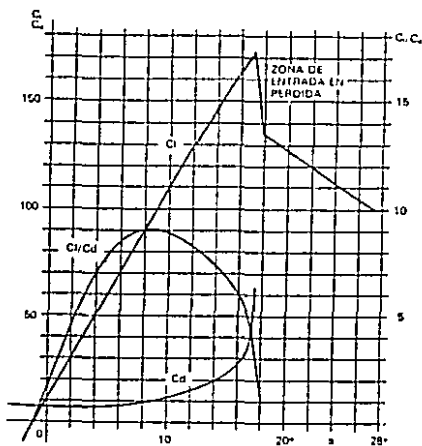
$\alpha$  = ángulo de ataque

V = Vel. de la corriente incidente.

$D = 1/2 V^2 c C_d \rho$

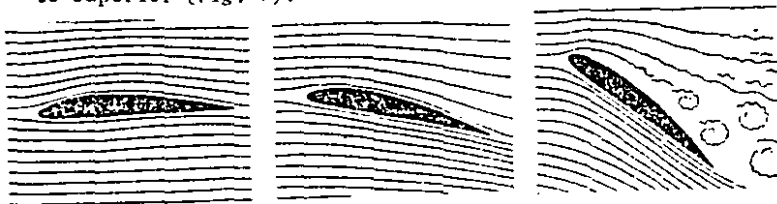


En cualquier segmento de ala vienen presentes dos coeficientes, el de sustentación ( $C_l$ ) y el de resistencia ( $C_d$ ) que dependen básicamente de la forma del ala y del ángulo de la misma, por ejemplo, para un perfil NACA 23015 tendremos la siguiente gráfica que ha sido sacada en base a la experimentación en túneles de viento (Fig. 6)



Para este determinado perfil, como podemos observar los coeficientes  $C_l$  y  $C_d$  crecen linealmente a medida que aumenta el ángulo de ataque, hasta que alcanza un valor en el que sufren una brusca variación. A esto se le conoce como "Entrar en pérdida", y es cuando hay una repentina pérdida de sustentación y la resistencia es mayor. La entrada en pérdida se presenta cuando el ala tiene una inclinación tal, que hay desprendimientos de la corriente de aire de la superficie del ala y se presenta la formación de turbulencia en la par

te superior (Fig. 7).

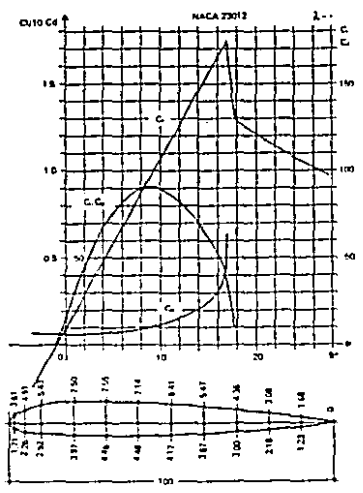
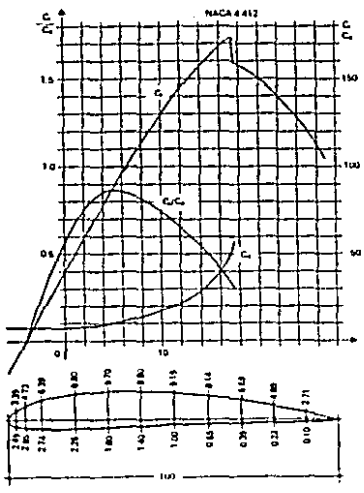


Como podemos ver en la Fig. 6, para el caso del ala del avión, el ángulo de ataque más adecuado es cuando  $C_l/C_d$  alcanza su valor máximo que corresponde al punto en el que se alcanza la mayor sustentación con relación al empuje de los motores; este ángulo como podemos ver es de  $9^\circ$ , y a  $17^\circ$  o más, es cuando entraría en pérdida.

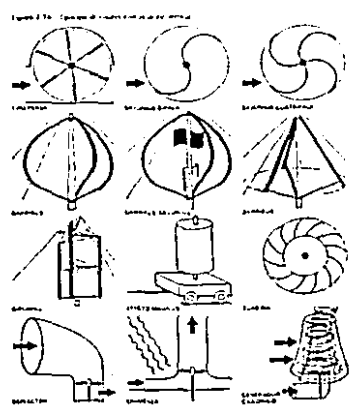
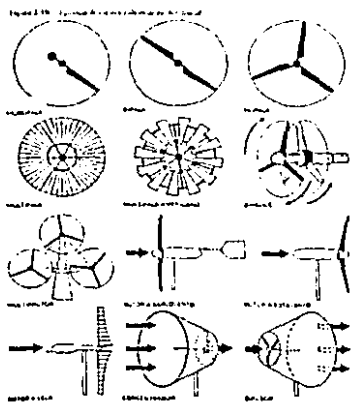
En el caso de las palas de un rotor hélico, la entrada en pérdida no presenta ningún problema, e incluso puede ser positivo para evitar una aceleración excesiva cuando la velocidad del viento es muy elevada.

En los molinos antiguos, la sección de las palas es plana, de características inferiores a los perfiles aerodinámicos que se utilizan en la actualidad.

En la actualidad existen una gran variedad de formas diferentes de perfiles aerodinámicos ensayados en túneles de viento y cuyas características son especificadas en los catálogos NACA. Para nuestro caso en particular y para aplicaciones hélicas se suelen utilizar los perfiles de la serie NACA 23 6 44. A continuación presentamos a manera de ejemplo dos de estos tipos de perfiles.

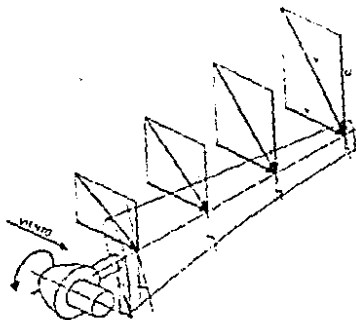


En la actualidad existen dos tipos principales de rotores para máquinas eólicas como lo son las aeroturbinas de eje horizontal y las de eje vertical con sus diferentes variantes como veremos en la figura 9.

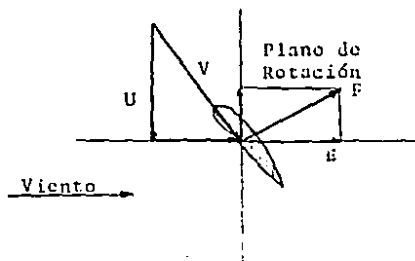


## AERODINAMICAS DE LAS TURBINAS DE EJE HORIZONTAL

En el caso de las palas de un rotor eólico, las -- fuerzas aerodinámicas son de forma similar a las del ala del avión, pero con la complicación adicional de que a la velocidad del viento habrá que sumarle la velocidad que se produce a causa de la rotación de la pala. Esta velocidad será mayor a medida que nos alejamos del eje; por lo tanto la velocidad de la corriente incidente crecerá de cada segmento de pala al eje del rotor, y su ángulo de incidencia será diferente en cada uno de ellos (Fig. 10).



La fuerza resultante que se produce sobre cada segmento de pala se descompone en una fuerza  $T$ , dirigida en la dirección de rotación, que es la que produce el par motor, y en otra fuerza  $E$ , que es un empuje indtil sobre el eje del rotor (Fig. 11)

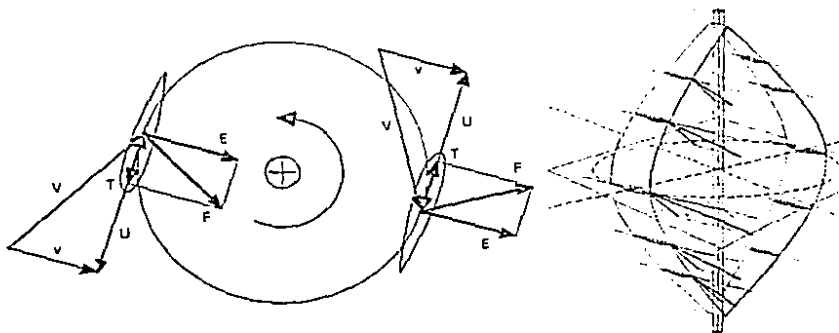


- F = fuerza aerodinámica  
 T = fuerza motriz  
 E = empuje aerodinámico  
 v = vel. del viento  
 U = vel. debido a la rotación  
 V = vel. de la corriente inci-  
 dente.

Si nosotros quisiéramos que cada segmento trabaje con un ángulo de ataque óptimo que haga máxima la fuerza motriz "T", tendremos que diseñar la pala con diferente ángulo en cada segmento, para compensar la variación en el ángulo de incidencia de la corriente. Por eso en muchas ocasiones las palas se construyen con torsión. Sin embargo, a veces es preferible diseñar la pala sin variar el ángulo de cada segmento, para evitar las dificultades de fabricación.

#### AERODINAMICA DE LAS TURBINAS DE EJE VERTICAL.

También en las turbinas de eje vertical la velocidad incidente varía a lo largo de toda la pala, pero también lo hace a lo largo de la trayectoria de rotación, es decir, que el ángulo y la intensidad de la corriente dependen de la posición que tenga la pala en ese momento (Fig. 12).



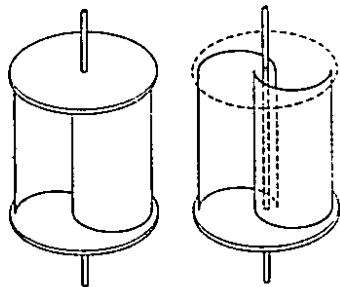
Esta nueva complicación trae como consecuencia que las fuerzas aerodinámicas, además de ser diferentes en cada uno de los segmentos de la pala, varían ahora cíclicamente durante la rotación, generando un par motor irregular.

Este inconveniente se puede arreglar con un rotor de un número mayor de palas que compensen las variaciones, o bien incrementando la velocidad de giro.

#### AERODINAMICA DE LAS TURBINAS LENTAS DE EJE VERTICAL.

Entre los distintos tipos de eje vertical, existen unos que funcionan con un principio aerodinámico diferente, utilizando las fuerzas de resistencia aerodinámica en vez de la de sustentación.

Estos rotores consiguen que la fuerza de resistencia en uno de sus lados sea superior a la del lado opuesto, generando un par motor. Este tipo de rotores funcionan con rendimientos bajos, pero su diseño es muy sencillo y son fáciles de construir. (Fig. 15).



## 2.2. CARACTERISTICAS DE LOS ROTORES.

Hay muchos tipos de rotores, aunque muchos de ellos ya están obsoletos, debido a que no ofrecían buenas posibilidades o sus rendimientos son muy bajos.

Las características de un rotor están dadas por tres parámetros principales: Solidez, velocidad típica y rendimiento aerodinámico.

### A)- SOLIDEZ:

Se define como la relación entre la superficie proyectada por las palas y la superficie descrita por las mismas en su movimiento de rotación.

Este parámetro permite comparar los diferentes tipos de rotores desde el punto de vista de la eficacia del material utilizado y la sencillez constructiva.

### B)- VELOCIDAD TIPICA:

Es la relación entre la velocidad debida a la rotación en el extremo más alejado de la pala y la velocidad del viento. Es un parámetro adimensional que permite clasificar los rotores en lentos o rápidos.

$$X = \frac{U R}{v}$$

X = Velocidad típica del rotor

U = Velocidad de rotación del rotor en el parte más alejada.

R = Longitud de la pala.

v = Velocidad del viento.

Los rotores rápidos funcionan con velocidades típicas de 5 a 8, mientras que los lentos operan con velocidades típicas en punta de pala parecidas a las del viento.

Un rotor de gran diámetro puede tener la misma velocidad típica, aunque gire a bajo número de revoluciones por minuto, que otro de menor diámetro y mayor velocidad de rotación.

### C)- RENDIMIENTO AERODINAMICO.

El rendimiento aerodinámico o coeficiente de potencia expresa la parte de la energía contenida en el viento que se transforma en energía mecánica en el eje del rotor, que en ningún caso puede superar el 60%. En realidad dicho rendimiento oscila entre el 20% y el 40%.

Los mayores rendimientos aerodinámicos se presentan en rotores de eje horizontal que funcionan con velocidades típicas elevadas.

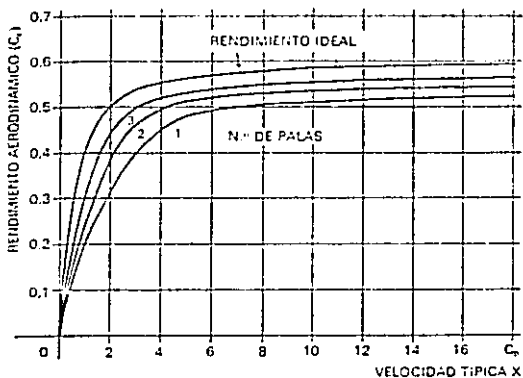
### 2.3. NUMERO DE PALAS.

La elección sobre el número de palas más adecuado para un rotor eólico ha sido un problema de difícil solución, porque el hecho de tener un gran número de palas no quiere decir que la eficiencia será mayor.

En este emplazamiento eólico, al hacer la elección de nuestro generador, lo más probable es que tenga como máximo 3 palas, ya que la mayoría de los fabricantes que acoplan una turbina eólica a un generador eléctrico se han dado cuenta en base a un sinnúmero de pruebas que,



con un número mayor, el rendimiento no aumenta en la proporción con que lo hace el gasto adicional al colocar más palas. (Fig. 15)



En base a pruebas en túneles de viento, se ha comprobado que a partir de tres palas el rendimiento varía poco, especialmente cuando se trata de rotores rápidos (se utilizan principalmente para generar electricidad). En los grandes aerogeneradores actuales, en los que el rotor puede suponer un 40% del costo total de la máquina, se prefiere utilizar 2 palas, puesto que el incremento de potencia que se obtiene con una tercera pala no compensa el costo adicional.

#### 2.4. DIMENSIONES.

El tamaño del generador eólico dependerá básicamente de la capacidad que necesitemos y para esto hay que tener en cuenta dos factores:

- El contenido medio de energía del viento en el lugar del emplazamiento.
- Los rendimientos de la turbina: El rendimiento aerodinámico del rotor, el rendimiento mecánico de los engranajes, el rendimiento eléctrico del generador y circuitos de salida y el rendimiento del sistema de almacenamiento.

Principalmente estos dos factores son los que nos permitirán conocer las dimensiones más características de un emplazamiento eólico (tamaño de las paletas, altura sobre el suelo, etc.). A continuación se presentan las dimensiones típicas para los rotores de eje vertical y horizontal en función de la potencia que se desea obtener (Fig. 15).

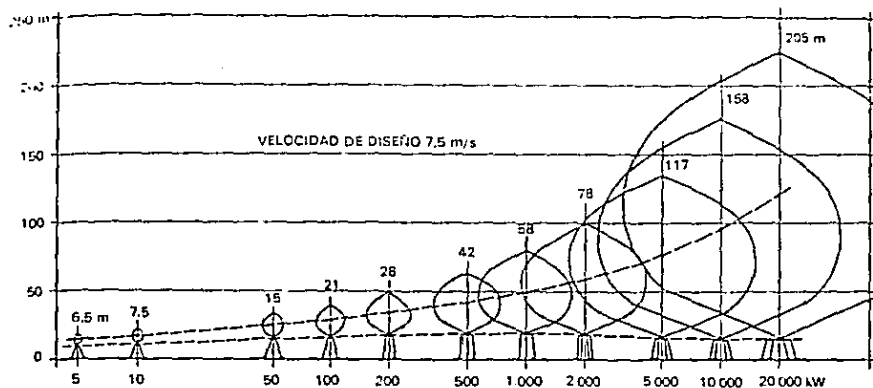
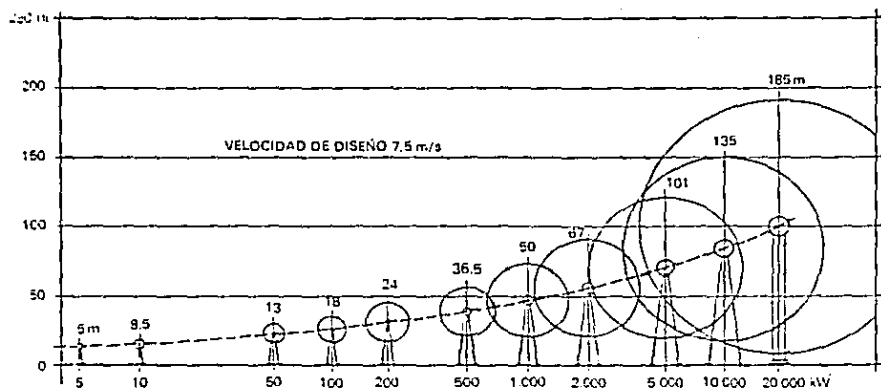


Fig. 15

### CAPITULO III

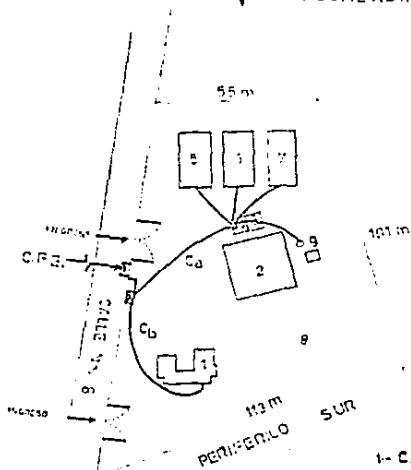
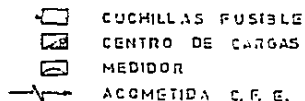
### DISEÑO ELECTRICO DE LA GRANJA

### 3.1. PLANO ELECTRICO.

En la actualidad la granja funciona con energía eléctrica que proporciona la COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, y por lo mismo hay una red que tendrá que ser utilizada (por economía) para cuando se ponga en funcionamiento el emplazamiento eólico auxiliar.

Para comenzar observemos los planos eléctricos y de distribución con todos los detalles de dimensiones, áreas, arreglos de lámparas, localización de apagadores y contactos, salidas para motores, salidas especiales, etc. que existen, para así darnos una idea de la instalación actual. También es importante observar los cuadros de carga, y diagramas unifilares y especificaciones de cables, tubería conduit o de PVC, dispositivos de seguridad, así como los circuitos principales y secundarios.

La acometida consta de dos fases, una de ellas alimenta al circuito A (casa) y la otra fase alimenta al circuito B (área de producción). Ver plano 1.



- 1- CASA HABITACION.
- 2-- CRIA DE GANADO
- 3- CUARTO DE HERRAMIENTAS.
- 4-- ALMACEN.
- 5, 6, 7- CRIA DE AVES.
- 8- HORTALIZAS.
- 9- BOMBA DE AGUA.

PLANO No. 1

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUAD.
GRANJA BUENAVISTA DEL SANTUARIO.
SAN CRISTOBAL DE LAS CASAS
CHIAPAS.

## DISEÑO ELECTRICO

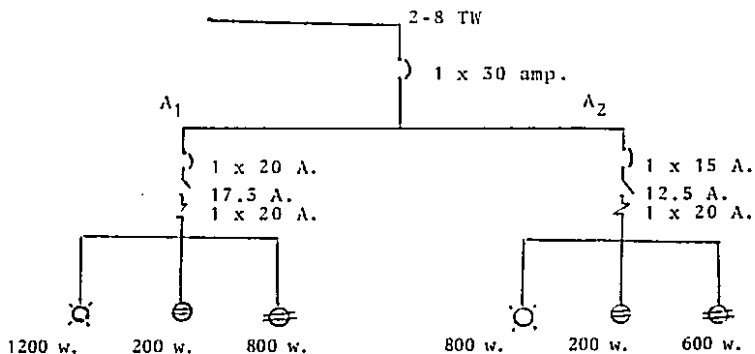
## CIRCUITO ALIMENTADOR "A"

El circuito alimentador "A", es una red que provee el flujo eléctrico a la casa habitación, y su diseño eléctrico es el siguiente:

## 1.- Cuadro de cargas:

Circuito A	100 W.	200 W.	200 W.	WATTS	I(amp.)
A <sub>1</sub> ala izq.	12	1	4	2200	17.3
A <sub>2</sub> ala der.	8	1	5	1600	12.5
Total	20	2	7	3800	29.9

## 2.- Diagrama unifilar:



## 3.- Calibre de los conductores:

En el circuito  $A_1$  el consumo máximo en watts será de 2 200 w. Y en el circuito  $A_2$  el consumo máximo será de 1 600 W. Por lo tanto el consumo en amperes es de:

$$\text{watts} = (\text{volts}) (\text{amperes})$$

$$\text{amperes} = \text{watts} / \text{volts}$$

$$\text{El circuito } A_1 \quad I = 2\,200 \text{ W.} / 127 \text{ V.} = 17.32 \text{ Amperes}$$

$$\text{El circuito } A_2 \quad I = 1\,600 \text{ W.} / 127 \text{ V.} = 12.5 \text{ Amperes.}$$

Basándonos en la tabla 2.7 del libro de "Manual de Instalaciones Eléctricas Residenciales e Industriales" de Enriquez Harper, observamos que para una corriente de 17.3 A corresponde un calibre 12TW en el circuito  $A_1$  y para una corriente de 12.5 corresponde un calibre 14 TW en el circuito  $A_2$ .

4.- El calibre del conductor que alimenta a todo el circuito A será:

$$I = W / V$$

$$I = 5\,800 \text{ W} / 127 \text{ V.}$$

$$I = 29.9 \text{ Amperes.}$$

Por lo tanto basándonos en la misma tabla 2.7 del mismo libro, el calibre que corresponde es del número 10 tipo TW.



### Cafda de tensión:

De acuerdo con la fórmula:

$$e\% = 4 L I / E_n . S$$

Donde e% = caída de voltaje en porcentaje.

L = longitud del conductor en mts.

I = corriente en amperes

E<sub>n</sub> = voltaje de línea a neutro.

S = sección del conductor en mm<sup>2</sup>

Sustituyendo valores:

$$e\% = 4 \frac{(35 \text{ mts}) (29.9 \text{ amp.})}{(127 \text{ V}) (5.36 \text{ mm}^2)} = \frac{4186}{668}$$

$$e\% = 6.26 \%$$

Esta caída de voltaje excede los valores establecidos por el Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas que son del 2% de caída de voltaje en instalaciones residenciales y 3 ó 4% en instalaciones industriales.

Por lo tanto, calculamos la caída de voltaje para conductor de calibre inmediato superior que es el TW número 8.

$$e\% = 4 \frac{(35 \text{ mts.}) (29.9 \text{ amp.})}{(127 \text{ V.}) (8.36 \text{ mm}^2)} = \frac{4186}{1061.7}$$

$$e\% = 3.9 \%$$

El calibre TW número 8 cumple con las normas establecidas.

#### 5.- Tipo de tubería:

Observando la tabla 2.8 del Manual de Instalaciones de Enriquez Harper, elegimos para el conductor TW número 8, tubería a conduit de pared delgada de 1/2 pulgada y para el resto de la red, tubería de PVC de 1/2 pulgada.

#### 6.- Protecciones:

Las protecciones se calculan de acuerdo al voltaje y corriente que se manejarán; por lo tanto observando el cuadro de cargas y el diagrama unifilar, las protecciones serán:

##### a) En la acometida:

Habrán un corta cuchillas fusible de 60 Amp. que servirá de protección, así como para desconectar todo el sistema para mantenimientos y arreglos.

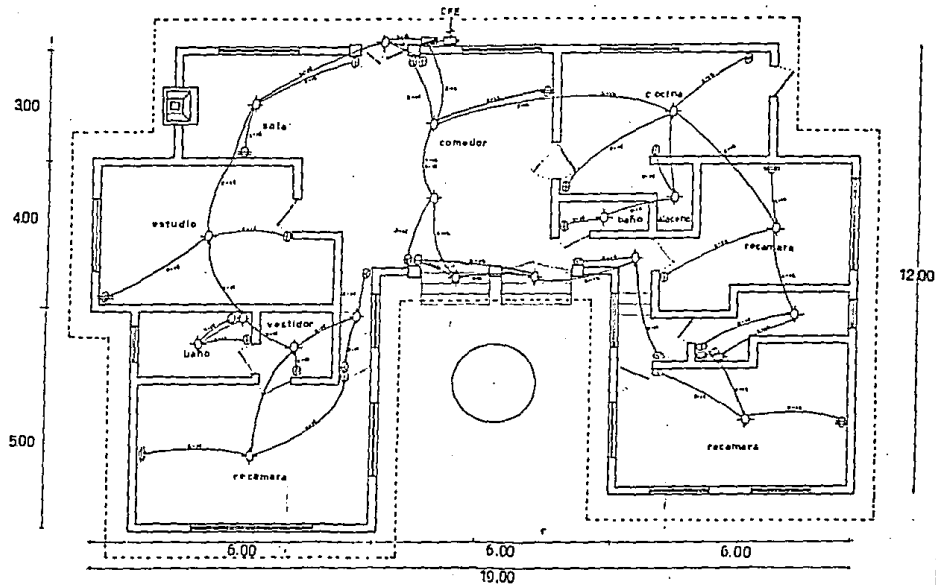
b) Posteriormente hay un centro de cargas con dos pastillas termomagnéticas, una para cada circuito principal (A y B). En el circuito A, la capacidad de la pastilla será de 30 amp. monofásico.

NOTA: La capacidad de la segunda pastilla se determinará más adelante.

c) En el circuito A, la corriente máxima que demandará será de 17.5 amp.; por lo tanto se pondrá una pastilla termomagnética de 20 amp. y fusible de 20 amp.

En el circuito  $A_2$  la corriente máxima que demandará será de 12,5 amp.; por lo tanto se pondrá una pastilla termomagnética de 15 amp. y fusible de 20 amp.

- † acometida C.F.E
- ☐ caja fusibles
- ☑ Interruptor general
- ⊕ contacto sencillo 200 W.
- ⊕ contacto múltiple 200 W.
- ⊕ interruptor sencillo
- ⊕ interruptor de escalera
- ◇ lámpara incandescente



PLANO NO. 2

U. A. G.
granja Buena Vista
del Santuario
San Cristobal de las
Caras, CHIAPAS

## DISEÑO ELECTRICO

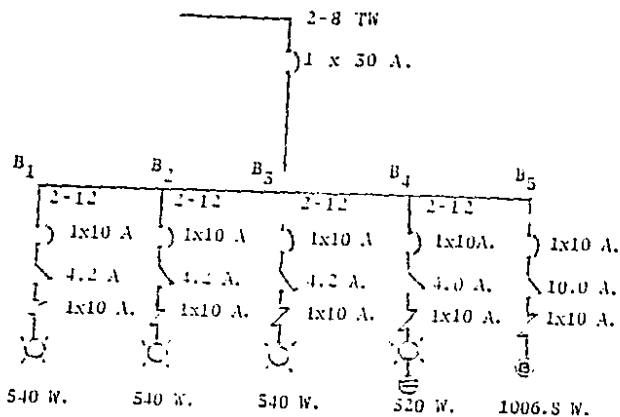
## CIRCUITO ALIMENTADOR " B "

El circuito alimentador "B" es una red que provee de fluido eléctrico a la granja en el área de producción, y su diseño eléctrico es el siguiente:

## 1.- Cuadro de cargas:

Circuito B	60 W.	200 W.	Motor 3/4 HP	WATTS	I (amp)
Galera 1	9	-	-	540	4.2
Galera 2	9	-	-	540	4.2
Galera 3	9	-	-	540	4.2
Almacén Bodega	2	2	-	520	4.0
Bomba de agua	-	-	1	1006.0	8.4
<b>Total</b>	<b>29</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3206.0</b>	<b>25.0</b>

## 2.- Diagrama Unifilar:



## 3.- Calibre de los conductores.

En los circuitos B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, el consumo máximo en Watts será de 540 W. por circuito.

$$\text{Watts} = (\text{volts}) (\text{amperes})$$

$$\text{Amperes} = \text{watts/volts}$$

Los circuitos B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, consumirán:

$$I_{1,2,3} = 540 \text{ w./127 V.} = 4.25 \text{ amp.}$$

El circuito  $B_4$  consumirá:

$$I_4 = 520 \text{ W./127 V.} = 4.09 \text{ amp.}$$

El circuito  $B_5$  consumirá:

$$I_5 = 1006.8 \text{ w./127 V.} = 7.92$$

Basándonos en la tabla 2.7 del libro "Manual de Instalaciones" de Enriquez Harper observamos que para una corriente de 4.25 corresponde un calibre 14 TW para los circuitos  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ .

Para una corriente de 4.09 corresponde un calibre 14 TW para el circuito  $B_4$ .

Para una corriente de 7.92 Amp. corresponde un calibre 14 TW para el circuito  $B_5$ .

4.- El calibre de alimentación para el circuito "B" será:

$$I = W/V$$

$$I = 3146.8 \text{ W./127 V.}$$

$$I = 24.77 \text{ Amp.}$$

Por lo tanto, basándonos en la misma tabla 2.7 del "Manual de Instalaciones" el calibre que corresponde es - el calibre No. 10 TW.

Caída de tensión:

$$e\% = \frac{4 L I}{E n S}$$

$$e\% = \frac{4(40 \text{ mts.})(24.77 \text{ amp.})}{(127 \text{ volts})(5.26 \text{ mm}^2)}$$

$$e\% = 5.95\%$$

Esta caída de tensión excede los valores establecidos por el Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas que son del 2% de caída de tensión en instalaciones residenciales y del 3 ó 4% para instalaciones industriales.

Por lo tanto, calculamos la caída de voltaje - para el conductor de calibre inmediato superior que es - del No. 8 TW.

$$e\% = \frac{4(40 \text{ mts.})(24.77 \text{ Amp.})}{(127 \text{ Volts})(8.36 \text{ mm}^2)}$$

$$e\% = 3.75\%$$



El calibre TW 3 cumple con las normas establecidas.

#### 5.- Tipo de tubería.

Observando la tabla 2.3 del Manual de Instalaciones del Libro de Enríquez Harper elegimos para el conductor - TW 3 tubería conduit de pared delgada de 1/2 pulg., para el circuito B<sub>5</sub> tubería conduit de pared delgada de 1/2 pulg., y para el resto de la red, tubería PVC de 1/2 pulg.

#### 6.- Protecciones.

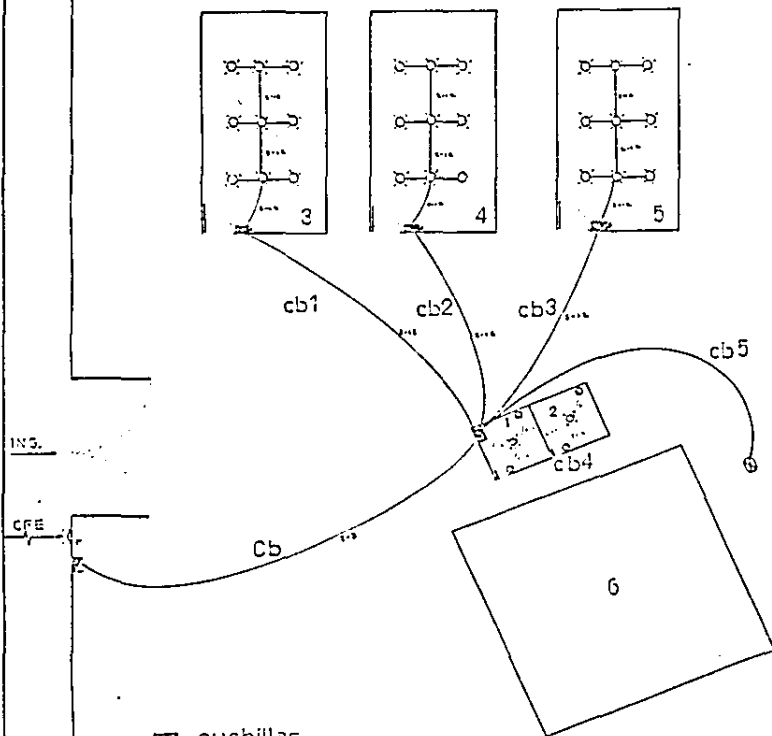
Las protecciones se calculan de acuerdo al voltaje y corriente que se manejarán; por lo tanto observando el cuadro de cargas y el diagrama unifilar, las protecciones serán:







a).- Habrá un cortacuchillas fusible de 60 Amp. que servirá de protección a los circuitos alimentadores.

b).- Posteriormente hay un centro de cargas con 2 - pastillas termomagnéticas, una para cada circuito alimentador. El termomagnético del circuito alimentador "A" ya se determinó con anterioridad su capacidad (30 amp.) y la capacidad del circuito alimentador "B" será también de 30 - amp., basándose en el diagrama unifilar y en el cuadro de cargas.

c).- Para cada uno de los circuitos B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub> y B<sub>5</sub> las protecciones serán:

- 1 pastilla termomagnética de 10 amp. ya que la corriente no excede de ese valor.
- Fusibles de 10 amp. por la misma razón.



-  cuchillas
-  fusibles
-  medidor
-  centro de carga
-  acometida CFE
-  bomba de agua
- 1 almacen
- 2 cuarteria de herramientas
- 343 cria de aves
- 6 cria ganado caprino

PLANO No. 3

U. A. G.
granja Buenavista del Santuario.
San Cristobal de las Casas. CHIAPAS.

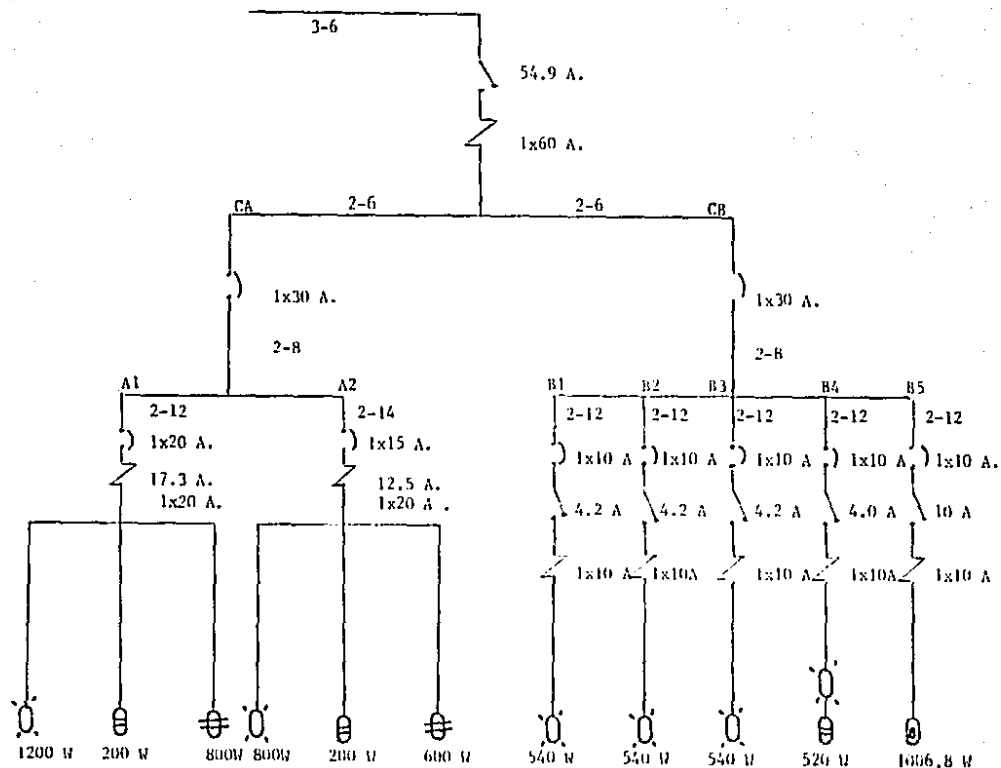


DIAGRAMA BUSBAR GENERAL.

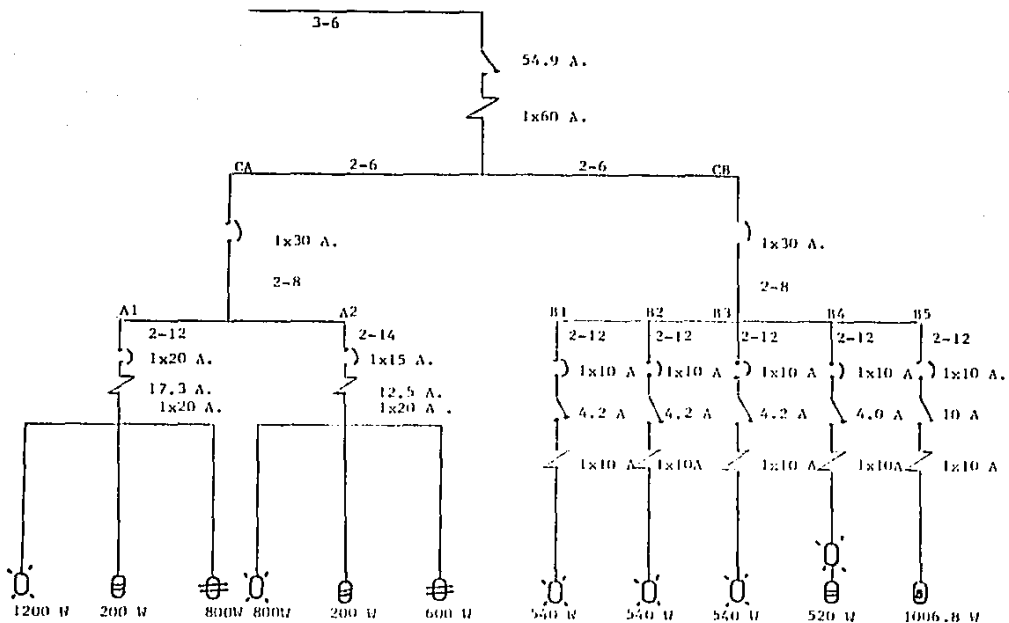


DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL.

#### CALIBRE EN LA ACOMETIDA.

El amperaje que se manejará será de 54.90 A. y --  
buscando en la tabla 2.7 del Manual de Instalaciones de -  
Enriquez Harper nos dará un calibre 6 TW.

#### PROTECCIONES EN LA ACOMETIDA.

El amperaje como ya hemos dicho es de 54.90 máxi--  
mo, por lo que las cuchillas fusibles serán de 60 Amp.

Los circuitos alimentadores A, B manejarán co- --  
rrientes de 29.8 y 26.6 respectivamente, por lo que los -  
interruptores termomagnéticos serán de 30 Amp. cada uno.

## OBSERVACIONES, COMENTARIOS Y CONCLUSIONES.

Como podemos observar, hay dos circuitos alimentadores principales (circuito A y circuito B), uno que lleva fluido eléctrico a lo que es propiamente la casa habitación ( $C_A$ ), y otro que provee de energía eléctrica a lo que es la granja ( $C_B$ ).

Para hacer los cálculos y movimientos necesarios del emplazamiento, hay que observar un detalle muy importante, como lo es, proveer de energía a la totalidad de la carga o solamente a una parte de ella, como lo sería solamente el circuito "B" que es el de la granja propiamente. Es muy importante esta decisión ya que en la elección, va en juego la economía de sus propietarios.

Si optamos por cubrir la carga total con el emplazamiento eólico auxiliar, tendríamos que comprar un generador más grande y un(os) acumulador(es) de mayor tamaño y capacidad. Si por el contrario, cubrimos parcialmente las necesidades, lo que sería auxiliar solamente el circuito "B", nuestros costos son menores porque tanto el generador como el sistema de almacenamiento de energía serían de menor capacidad y a la granja en sí, no le falta energía eléctrica, que es realmente el objetivo que persigue este trabajo.

## MODIFICACIONES.

Para comenzar a hacer la instalación con sus respectivas modificaciones, partiendo de que solamente el circuito "B" será alimentado, y en base a los planos ori-

ginales, procederemos a escoger el sitio más indicado para la instalación de la torre donde se pondrá el generador eólico, así como el lugar donde las baterías, inversor de estado sólido, controles, protecciones y conectores irán instalados para hacer entrar en operación el sistema.

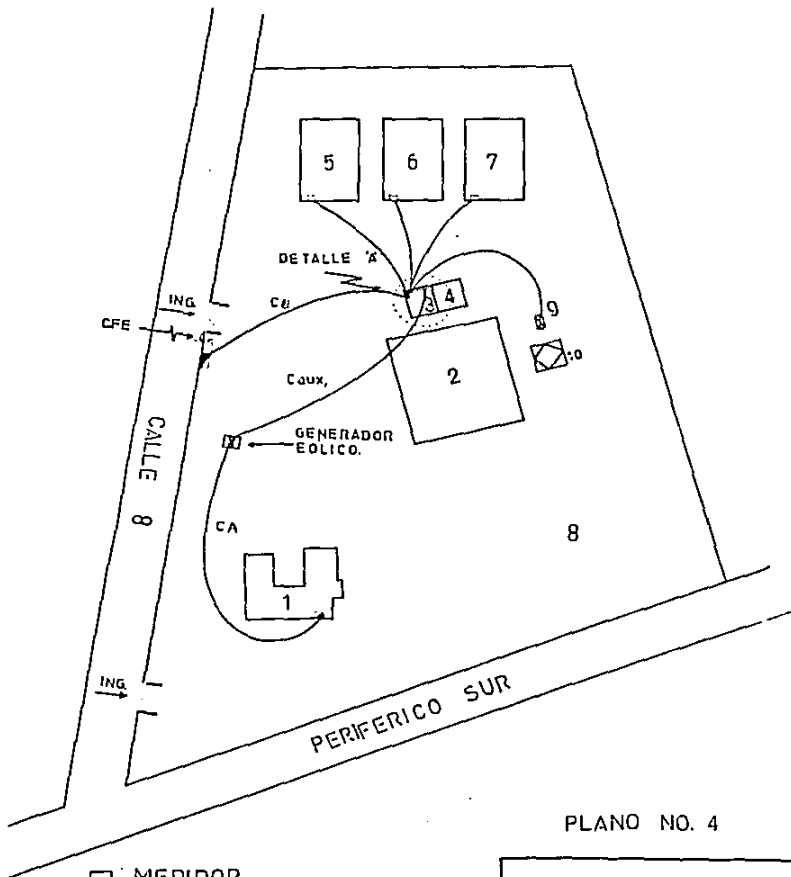
Siendo la granja un lugar completamente despejado, libre de árboles y construcciones de gran tamaño "Buena Vista del Santuario" presenta un buen lugar para hacer este tipo de emplazamiento. Podríamos escoger prácticamente un gran número de sitios donde anclar nuestra torre, pero tomando en cuenta el punto 4 del capítulo 1 y buscando un lugar que no dañe las actividades normales de la granja, se ha decidido poner el emplazamiento como lo muestra el plano siguiente en donde también se muestra el lugar donde irán instalados los demás componentes del sistema.

Se ha escogido el cuarto de almacén como sitio donde se instalarán y conectarán los componentes (batería, inversor, protecciones, etc.) que necesita el emplazamiento para poderse conectar a la red. Esto se hizo para evitar construir un local extra, que representaría un gasto más, y porque el espacio que se ocupa para los componentes es muy pequeño. El cuarto de almacén tiene buena ventilación ya que cuenta con ventanales que en un momento dado podrían dejarse abiertas, ya que el local cuenta con protecciones. Una segunda opción sería instalar una chimenea tipo tubo con campana, encima de las baterías, para que los gases tóxicos que se producen puedan escapar.





1 CASA  
 2 CRIA GANADO  
 3 ALMACEN  
 4 BODEGA

567 GALERAS  
 8 HORTALIZAS  
 9 BOMBA DE AGUA  
 10 TANQUE DE AGUA

50




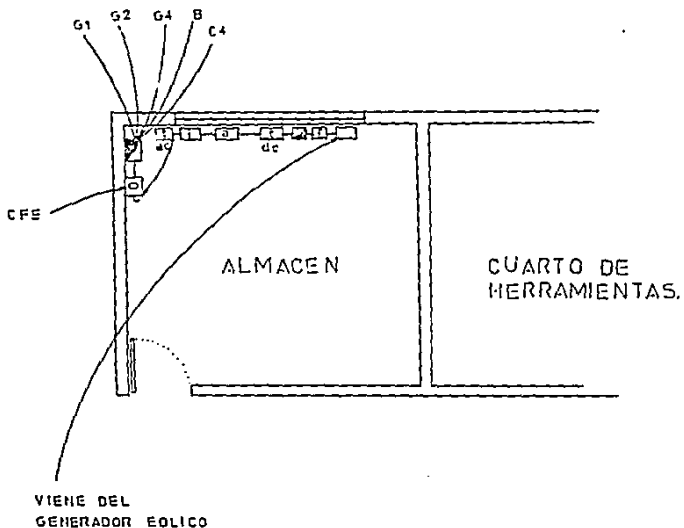
PLANO NO. 4

-  MEDIDOR
-  CUCHILLAS
-  TERMOMAGNETICOS
-  GENERADOR EOLICO

U A G
granja Buenavista del
Santuario
San Cristobal de las
Casas. CHIAPAS.



- t tablero de control ac/dc
- g interruptor de doble tiro
- r regulador de voltaje y corriente
- i inversor cd/ca
- a acumuladores
-  interruptores termomagnéticos
- cuchillas



DETALLE X  
PLANO NO 5

U A G
granja Buenavista del Santuario
San Cristobal de las

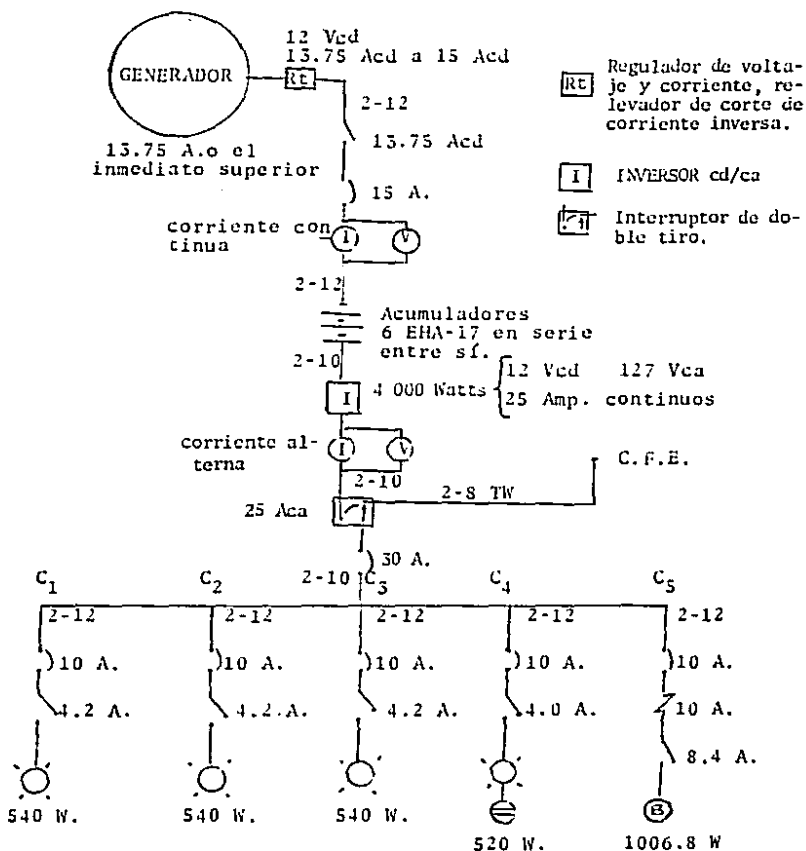
## 3.2. CUADRO DE CARGAS

El cuadro de cargas, viene siendo el original; ya que nuestros circuitos son los mismos, nuestra demanda - será también la misma.

CIR- CUI- TO	60 W	200 W	MOTOR 3/4	WATTS	I (amp)
C <sub>1</sub>	9	-	-	540	4.2
C <sub>2</sub>	9	-	-	540	4.2
C <sub>3</sub>	9	-	-	540	4.2
C <sub>4</sub>	2	2	-	520	4.0
C <sub>5</sub>	-	-	1	1006.8	8.4
Total	29	2	-	3206.8	25.0

## 3.3. DIAGRAMA UNIFILAR

El diagrama unifilar del circuito c6lico auxiliar -  
tendr4 la misma carga original, y viene representado como  
sigue:



### 3.4. BANCO DE BATERIAS.

En un sistema eólico, que se ha diseñado para producir energía eléctrica para usos auxiliares, tendrá necesariamente que contar con un banco de baterías, que es el que almacenará la energía que ha sido producida por el generador, para que en el momento que sea necesaria su intervención, lo haga con rapidez y eficiencia.

Las baterías presentan buenas características para aplicaciones de baja potencia. Las baterías más baratas y más comúnmente empleadas son las de Plomo-Acido que se utilizan habitualmente en la industria del automóvil. Estas baterías están formadas por un electrodo positivo de dióxido de plomo, y el negativo de plomo esponjoso, sumergidos ambos en un electrolito de ácido sulfúrico diluido. El inconveniente de estas baterías es que no soportan bien los continuos ciclos de carga-descarga completa.

Las baterías alcalinas a base de níquel-hierro o níquel-cadmio tienen mejores características en lo que se refiere a los ciclos de carga, y por ello, aunque son más caras, son más adecuadas para el almacenamiento de la energía de origen eólico. La vida de estas baterías es de 10 años soportando ciclos completos de carga-descarga, mientras que en las de plomo-ácido es de 5 a 6 años.

La batería de níquel-hierro tiene el electrodo negativo de hierro y el positivo de óxido de níquel, mientras que la de níquel-cadmio utiliza un electrodo negativo de cadmio. Ambos se sumergen en un electrolito de hidróxido de potasio. Su tamaño es mayor que las de plomo-ácido, aunque su peso es menor.

Existen otros tipos de baterías que están en desarrollo. En general, suelen tener mayores densidades de acumulación que las de plomo-ácido o las alcalinas, pero sus precios son muy superiores.

Las baterías de plata-cinc tienen una densidad de almacenamiento de tres a seis veces las alcalinas, aunque su vida media es menor y su precio 10 veces superior a las de plomo-ácido. La batería de sodio-azufre tiene una densidad de acumulación de 10 veces las baterías convencionales, pero tiene el grave inconveniente de que trabaja a temperaturas de 500°C. Esta batería, desarrollada por la Electric Power Research Institute de los E.U. tiene muy buenas perspectivas.

General Electric está trabajando sobre una batería de litio-cloro, con un peso 15 veces menos que la de plomo para igual cantidad de energía acumulada. A corto plazo se puede conseguir un modelo de hasta 5 000 kWh, pero presenta también el inconveniente de funcionar con temperaturas elevadas, del orden de los 600°C, por lo que deben llevar un sistema de calefacción integrado.

Aunque el campo de las baterías está en plena evolución y las perspectivas son esperanzadoras, en el momento actual sólo las de plomo y las alcalinas están en disposición de ser utilizadas en sistemas eólicos autónomos de baja potencia.

En nuestro sistema utilizaremos baterías de tipo plomo-ácido ya que éstas son de bajo costo, son mucho más fáciles de conseguir en el mercado, aunque su período de vida sea un poco menor.

Para decidir la capacidad de la batería y el tipo de arreglo que se tendrá que conformar, debemos tener en cuenta algunos factores importantes:

- La carga que vamos a alimentar es de 127 Vca.
- El amperaje mínimo necesario es de 25.
- El tiempo máximo de duración será de 24 horas de trabajo continuo.
- El inversor de cc-ca tiene capacidad para 4000 W y trabaja a 12 Vcc-127 Vca.

Tomando en cuenta los datos anteriores, procederemos a hacer los cálculos pertinentes.

Se necesita una corriente de 25 amp. de C.A. continuos durante 24 horas. Tomando baterías con régimen de 8 horas.

- 1)- Primero calculamos el amperaje necesario para alimentar durante 24 horas una carga de 25 amperes continuos con baterías de régimen de 8 horas.

$$\frac{X}{3} = 25 \text{ amp. para 8 hrs.}$$

Despejando X

$$X = 25 \times 3 = 75 \text{ amperes continuos durante 8 horas}$$

X = amperaje necesario para alimentar una carga de 25 - amp. continuos durante 24 horas.

- 2)- A continuación buscamos el número de amperes-hora --  
(A-H)

$$\frac{Y}{8 \text{ Hrs.}} = 75 \text{ amp.}$$

Despejando Y

$$Y = 75 \times 8 = 600 \text{ amperes-hora}$$

- 3)- Buscamos en tablas de fabricantes (para este caso - -  
EXIDE de México S.A. de C.V. nos proporcionó sus mode  
los y tipos de celdas para baterías) cuál batería --  
tiene o se acerca a 600 amperes-hora.

## TIPOS TYTEX PLACA PLANA

Tipo de celda	Placas por Celda	Tarifa de carga Amper.	H horas		Peso lbs. por celda completa	Peso en lbs. Electrólito	Jarea de Recipientes	Cubierta o Tapa	Tamaño de ventilación	
			Amper. Hrs.	Puntos de celda					A prueba de Explosión	Estándar
<b>(EHA)</b>	5	10	150	53	136*	40*	44513*	71384	71654	56701
	7	15	225	87	59	10	44507	71384	71654	56701
	9	20	300	97	77	20	44508	71386	71654	56701
	11	25	375	96	95	27	68241	71387	71654	56701
	13	30	450	110	103	35	44509	75244	71654	56701
	15	35	525	97	125	34	68274	71388	71654	56701
	17	40	600	94	143	42	68253	71389	71654	56701
<b>FHA</b>	11	45	800	74	183	51	68232	71358	71655	56701
	13	54	950	93	197	48	68245	71359	71655	56701
	15	63	1100	112	217	46	68245	71360	71655	56701
	17	72	1250	99	251	59	68246	71361	71655	56701
	19	81	1400	103	271	72	68246	71359	71655	56701
	21	90	1550	107	306	70	68277	71360	71655	56701
	23	99	1700	146	323	68	68247	71360	71655	56701
	25	108	1850	119	367	90	70592	75120	71655	56701
	27	117	2000	133	385	85	70593	75120	71655	56701
	29	126	2100	138	402	85	70593	75120	71655	56701
	31	135	2200	143	419	82	70593	75120	71655	56701
	33	144	2300	149	436	79	70593	75120	71655	56701
	35	153	2400	154	453	76	70593	75120	71655	56701

## TIPOS MANCHEX

<b>CME</b>	3	1	8	35	15.5*	4.8*	43498*	43497	---	44023
	5	2	16	75	20.5*	4.5*	43498*	43497	---	44023
	7	3	24	77	22.0*	6.3*	56926	56926	---	44923
<b>DMP</b>	5	5	40	50	23	7	53366	53369	---	52763
	7	8	60	54	31	9	53367	53370	---	52763
	9	10	80	56	39	12	53368	53371	---	52763
<b>EMP</b>	5	9	80	43	124*	42*	44513*	71334	71654	56701
	7	14	120	58	54	17	44507	71335	71654	56701
	9	19	160	66	63	20	44510	71336	71654	56701
	11	24	200	58	87	20	44509	71387	71654	56701
	13	28	240	73	95	20	44509	71387	71654	56701
	15	33	280	66	113	35	44510	71388	71654	56701
	17	38	320	62	131	42	44511	71389	71654	56701
19	42	360	71	141	42	44511	71389	71654	56701	
<b>FMP</b>	11	42	415	59	172	58	68245	71358	71655	56701
	13	50	498	73	187	55	68245	71358	71655	56701
	15	59	581	67	222	70	68246	71359	71655	56701
	17	67	664	63	257	86	68247	71360	71655	56701
	19	76	747	71	273	83	68247	71360	71655	56701
	21	84	830	62	318	108	49163	75120	71655	56701
	23	92	913	69	333	103	49163	75120	71655	56701
25	101	996	75	349	107	49153	75120	71655	56701	

## TIPOS IRONCLAD

<b>EHGS</b>	3	1	8,6	23	14*	5,3*	43438*	43497	---	44023
	5	8	144	62	113*	30*	44513*	71384	71654	56701
	7	12	216	100	131*	34*	44513*	71384	71654	56701
	9	16	288	110	95	14	44507	71385	71654	56701
	11	20	360	115	68	16	44503	71386	71654	56701
	13	24	432	95	84	24	44509	71387	71654	56701
	15	28	504	117	93	22	44509	71387	71654	56701
	17	32	576	141	96	21	44509	71387	71654	56701
	19	36	648	118	113	28	44510	71388	71654	56701
<b>FHGS</b>	11	37	760	114	146	35	68232	71358	71655	56701
	13	44	912	97	178	49	68245	71358	71655	56701
	15	52	1064	122	191	46	68245	71359	71655	56701
	17	59	1216	105	228	61	68246	71359	71655	56701
	19	67	1368	124	238	58	68246	71360	71655	56701
	21	74	1520	110	270	73	68247	71360	71655	56701
	23	81	1672	126	283	69	68247	71360	71655	56701
	25	89	1824	103	327	93	70592	75120	71655	56701
	27	97	1976	114	341	91	70593	75120	71655	56701
29	104	2128	127	354	87	70593	75120	71655	56701	

\*\* PARA BATERIA DE 3 CELDAS  
\* PARA BATERIA DE 2 CELDAS



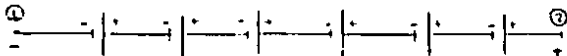
a. Estos valores están basados a una temperatura del electrolito de 77 °F de (25° C.) al inicio de la descarga y a una densidad a plena carga de 1,210. El voltaje final al límite de la descarga tendrá un promedio de 1.75 volts por celda, para los valores

### TIPO TYTEX PARA PLACA PLANA

Tipo de celda	Placas por celda	Tarifa de carga amps.	β-Horas		Peso lbs. por celda completa	Peso en lbs. Electrolito	Jarra o recipiente	Cubierta o Tapa	Facciones de ventilación	
			Amps. Hs.	Puntos de carga					Abrir de Escape	Estancar
CWA	5	1	7.5	70	9**	3**	5898A	5898B	---	44923
COE	3	1	10	40	14*	4.8*	43498*	43497	---	44923
	5	2	20	80	14*	4.5*	43398*	43497	---	44923
	7	3	30	82	25.5*	6.3*	56937*	56936	---	44923
LEA	3	2.5	32	80	25*	7*	73722*	66195	---	66202
	5	3.5	40	80	42*	10*	41049*	41053*	---	66202
KXHS	7	5.5	60	67	63*	19*	69720*	69730*	---	66202
	9	7	80	95	72*	18*	69729*	69730*	---	66202
	7	3.5	50	100	32*	8.5*	41049*	41053*	---	28094
PWA	13	7	100	110	57*	16.5*	41051*	69730*	---	28094
	7	4	50	105	34*	8.1*	41049*	41053*	---	28094
PLX	13	8	100	115	61*	16.2*	41051*	69730*	---	28094
	5	4	50	62	21	7	53366	53369	---	52763
DOP	7	6	75	66	27	10	53367	53370	---	52763
	9	8	100	68	34	13	53368	53371	---	52763
	7	9	120	70	119*	39*	44513*	71384	71654	56701
EOP	9	12	160	75	49	16	44507	71385	71654	56701
	11	15	200	77	61	19	44506	71386	71654	56701
	13	18	240	68	76	27	44509	71387	71654	56701
	15	21	280	78	81	26	44509	71387	71654	56701
	17	24	320	85	86	25	44509	71387	71654	56701
	19	27	360	79	100	33	44510	71388	71654	56701
	21	30	400	84	105	32	44510	71388	71654	56701
	FOP	13	32	469	65	146	56	68245	71358	71655
15		38	547	75	154	54	68245	71358	71655	56701
17		43	626	83	162	52	68245	71359	71655	56701
19		49	704	75	191	69	68246	71359	71655	56701
21		54	782	81	199	67	68246	71359	71655	56701
23		59	860	76	227	82	68247	71360	71655	56701
25		65	938	81	235	80	68247	71360	71655	56701
27		70	1017	72	274	105	49163	75120	71655	56701
29		76	1095	77	283	103	49163	75120	71655	56701
31		81	1173	81	291	101	49163	75120	71655	56701
ETA	5	10	180	83	122*	41*	44513*	71384	71654	56701
	7	15	240	90	53	16	44507	71385	71654	56701
	9	20	320	98	68	20	44508	71386	71654	56701
	11	25	420	95	85	27	68241	71387	71654	56701
	15	35	550	98	112	34	68254	71388	71654	56701
	17	40	650	100	130	42	68253	71389	71654	56701
FTA	11	45	840	80	176	57	68232	71358	71654	56701
	15	63	1120	116	205	53	68245	71358	71654	56701
	17	72	1320	105	242	67	68246	71359	71654	56701
	21	90	1680	116	292	80	69727	71360	71654	56701

Observamos que el tipo de celda EHA-17 nos da una capacidad de 600 amperes-hora exactamente, a 2 Volts por celda.

- 4).- Si nuestras necesidades son a 12 V, es necesario hacer un arreglo.



Por lo tanto, necesitamos 6 celdas del tipo EHA-17 conectadas en serie.

NOTA: EXIDE recomienda usar electrolito de DENSIDAD 1210 que es para uso luz y fuerza de emergencia.

### 5.5. CAPACIDAD DEL GENERADOR.

En la actualidad, la mayoría de las modernas aeroturbinas suelen estar adaptadas para producir electricidad, debido a la facilidad en el manejo de este tipo de energía, así como la versatilidad de sus aplicaciones.

El sistema eléctrico de una aeroturbina está condicionado por las características de operación del rotor, es decir, si opera a vueltas constantes o a vueltas variables, y por el sistema de aprovechamiento de la energía obtenida, ya sea con conexión directa a la red o con alguna forma de almacenamiento.

Si nos decidimos a utilizar los sistemas de vueltas variables para producir electricidad existe la dificultad de conseguir frecuencias estabilizadas. La solución más práctica es generar corriente continua, almacenarla en baterías y transformarla después en alterna mediante un convertidor corriente continua/corriente alterna (Inversor).

Existen otros dos métodos de utilizar sistemas eólicos de vueltas variables para generar corriente alterna con frecuencia estable, aunque resultan bastante complicados.

Uno de ellos consiste en modular el campo de excitación del generador en función de la variación en las revoluciones del eje motor, mediante sistemas electrónicos.

El otro consiste en utilizar corriente alterna en la excitación del generador y hacer girar el inductor a -

velocidades elevadas. La corriente de salida tendrá una alta frecuencia estabilizada, que una vez modulada podría ser adecuada para conectarla a la red.

Hay aerogeneradores que funcionan a régimen de - - vueltas constantes.

Las turbinas que funcionan con velocidad fija suministran una corriente de salida con una frecuencia estable, debido a los sistemas de regulación y control de las revoluciones del eje motor; por lo mismo resultan más caros y su uso se recomienda para emplazamientos de gran tamaño y potencia.

Los generadores que transforman la energía mecánica en eléctrica pueden ser dinamos, que proporcionan corriente continua, o alternadores. Los alternadores pueden ser de inducción (asíncronos) o de excitación (síncronos). Cada uno de estos sistemas de generación tienen diferentes características, tanto en los requerimientos de entrada como en la corriente de salida.

### 1).- GENERADORES DE CORRIENTE CONTINUA

La dinamo es una máquina eléctrica sencilla que se viene utilizando desde hace mucho tiempo y que no presenta demasiadas complicaciones. Su mayor inconveniente tal vez es que utiliza escobillas en el colector, lo que exige un mantenimiento superior al de los alternadores.

En las dinamos el inducido es el rotor; la corriente generada en las bobinas inducidas es alterna, pero la

salida se obtiene mediante dos anillos recorridos en su giro por dos escobillas colectoras, que con el tiempo se desgastan. Las bobinas inductoras se encuentran en el estator y son alimentadas, en serie o en paralelo, por la corriente generada por la propia máquina. El arranque se realiza utilizando el magnetismo remanente en los polos inductores.

La tensión generada en las dinamos depende de la velocidad de giro y del número de polos, y la intensidad de la corriente está relacionada con la tensión y con la carga.

Para evitar sobretensiones o sobreintensidades que podrían perjudicar a la batería, las dinamos suelen ir acompañadas de unos reguladores tanto de tensión como de intensidad.

## 2).- GENERADORES DE EXCITACION O SINCRONOS.

Los generadores sincronicos son los alternadores clásicos que reciben la corriente de excitación en forma de corriente continua, bien desde una fuente exterior o bien desde otro alternador auxiliar con rectificador incorporado.

En general, este tipo de alternadores han sustituido a las dinamos en la industria del automóvil, debido a que proporcionan mayor potencia con el mismo peso y a que trabajan a un margen de revoluciones más amplio. Otra ventaja importante es que reciben la corriente inductora en el motor a través de dos anillos completos por los que deslizan las escobillas y por los que pasan sólo bajas intensidades, resultando más robustos que las dinamos y con

menos requisitos de mantenimiento.

Los devanados del inducido se encuentran en el estator y actúan como reguladores de intensidad, por efecto de autoinducción, por lo que no permiten el paso de sobretensiones. Si necesitan en cambio, regulador de tensión que evite los fuertes incrementos del voltaje que se producirían en caso de embalamiento de la turbina.

Los generadores de este tipo suministran una corriente con una frecuencia que depende de la velocidad de rotación de la máquina, por lo que si desean frecuencias estables habrá que disponer de un sistema de regulación muy preciso. En caso de conexión a la red, el sistema de control debe realizar la conexión en el momento en que la turbina haya alcanzado la velocidad de sincronismo, y la corriente de salida sea igual a la de la red. La turbina sólo puede funcionar a esa velocidad, puesto que para velocidades de giro menores actuaría como un motor, absorbiendo potencia de la red.

La ventaja de los alternadores sincrónicos es que funcionan siempre de forma muy regular y que pueden trabajar tanto en paralelo con la red, como alimentando sistemas eléctricos autónomos.

### 3).- GENERADORES DE INDUCCION O ASINCRONOS

Los generadores reciben la corriente de excitación de una fuente exterior, que puede ser la red o algún generador auxiliar, pero en cualquier caso se trata de una corriente alterna, que crea un campo magnético alterno de -

la misma frecuencia en el inductor.

La frecuencia de la corriente generada depende de la frecuencia de excitación, y su intensidad de la caída de velocidad de giro respecto a la de sincronismo, que es la velocidad de giro del rotor cuando gira libremente sin ceder o absorber potencia eléctrica. Estos generadores son por tanto muy adecuados para obtener frecuencias estables.

Los sistemas de control de los generadores de inducción deben efectuar la conexión a la red cuando la velocidad de giro del rotor sea algo superior a la velocidad de sincronismo, y desconectarla cuando la velocidad sea inferior, pues en ese caso el generador actúa como un motor absorbiendo potencia de la red.

Los generadores de inducción tienen la ventaja de que utilizan un rotor de jaula de ardilla, muy robusto, que no necesita anillos ni escobillas. Sin embargo, el hecho de depender de la red para obtener su corriente de excitación limita su aplicación, y hay que prever los efectos de posibles fallos en la alimentación o sobretensiones, que ocurren con relativa frecuencia en las redes rurales.

Los sistemas de inducción y de excitación se han utilizado indistintamente en las grandes plantas eólicas que actualmente están en operación, presentando ambas ventajas e inconvenientes. En los EE.UU. parece que se han inclinado por los de excitación o sincros, debido a que su corriente de suministro es menos reactiva, siendo su factor de potencia próximo a uno. Los Daneses, y en general los Europeos han preferido los generadores de --

inducción para evitar los problemas del sincronismo.

En general, tanto en la producción de electricidad como en otras aplicaciones, la energía eólica constituye una fuente perfectamente válida de aprovechamiento.

Conociendo de un modo general el funcionamiento de todos y cada uno de los generadores eléctricos, y para poder elegir un determinado generador eólico, primero deberemos determinar la capacidad de nuestro generador eléctrico. Para esto, deberemos tomar en cuenta nuestras necesidades. Estas son:

- 1).- Tenemos una carga máxima de 25 amperes continuos.
- 2).- El voltaje que deberá suministrar es de 12 Vcd.
- 3).- El tiempo con que se contará para que el generador cargue las baterías nuevamente, suponiendo que éstas se descargaran un 100%, y dada la experiencia, será de 48 horas de carga del generador a las baterías por 24 horas de trabajo continuo que las baterías darán a nuestra carga. Esto se conoce como carga lenta.

NOTA: La carga lenta hace que nuestras baterías trabajen con mayor eficiencia, y que el período de vida de éstas, sea más largo.

EXIDE de MEXICO nos proporcionó los datos necesarios para hacer los cálculos para calcular el amperaje necesario para cargar las baterías a carga lenta en un determinado tiempo.



$$A = \frac{AH \times 1.10}{T} + L$$

Donde:

A = Capacidad en amperes del generador.

AH = Amperes-hora de la batería.

1.10 = Factor mínimo de eficiencia de la carga para -  
baterías del tipo plomo-ácido.

T = Cantidad de horas para la recarga.

L = Demanda continua del sistema.

Sustituyendo valores:

$$A = \frac{600 \times 1.10}{48} + L$$

L = 0 Porque el generador no alimentará a la carga -  
directamente, es decir, el sistema no será de  
uso continuo.

$$A = 13.75 \text{ amperes continuos.}$$

Por lo tanto concluimos que el generador deberá -  
proveer de cuando menos 13.75 amperes continuos a un voltaje de 12 Volts para cargar las baterías en un tiempo de 48 horas, suponiendo que éstas están completamente descargadas.

### 3.6. PROTECCIONES, TIPO DE CABLE Y AISLANTES.

#### PROTECCIONES:

El sistema deberá contar con dispositivos que protejan tanto a la carga como a los elementos del sistema.

1).- El generador deberá contar con un regulador de voltaje, un regulador de corriente, así como un relevador de corte de corriente inversa, según sea el voltaje y corriente que se manejarán. Estos reguladores se colocarán con el fin de proveer una corriente y un voltaje constantes, así como para proteger al generador al momento en que nuestras baterías estén totalmente cargadas.

2).- Si por algún motivo fuera del control, la corriente fuera mayor que la especificada o hubiera un corto circuito entre el generador y las baterías, tendrá que entrar en operación un termomagnético entre el generador y el banco de baterías.

3).- Se colocará un corta corriente de cuchillas para aislar al generador para futuros mantenimientos.

4).- Se colocarán medidores de intensidad y tensión de corriente directa entre el generador y el banco de baterías para llevar un historial y un control de eficiencia del generador.

5).- Se colocarán medidores de corriente alterna entre el interruptor de doble tiro y el inversor para saber la corriente y voltaje que en un momento dado demandara la carga.

## VALORES DE LAS PROTECCIONES.

1).-

a).- El regulador de tensión deberá estar ajustado a una salida de 12 Vcd.

b).- El regulador de intensidad deberá estar calibrado a 13.75 Acd como mínimo o su inmediato superior - (15 Acd).

c).- El relevador de corte de corriente inversa deberá estar calibrado para un voltaje de 12 Vcd como máximo y manejar una corriente de 15.75 como mínimo.

2).- El termomagnético que se encuentra entre el generador y el banco de baterías deberá ser de 15 Amp. ya que la corriente máxima que pasará será de 15 amp.

3).- El corta corriente de cuchillas deberá ser capaz de manejar una corriente de 15.75 A.

4 y 5).- Los medidores de intensidad y de tensión serán: Los de corriente directa de 0-25 Amp. y de 0-24 V. Los de corriente alterna de 0-100 Amp. y de 0-250 V.

NOTA: Las demás protecciones y cuchillas del circuito serán las mismas (ver diagrama unifilar).

6).- El interruptor de doble tiro deberá ser capaz de manejar corrientes de 25 Amp. de corriente alterna.

## TIPOS DE CABLE

El alambrado de la red del sistema no es muy complicado y un electricista capacitado lo puede realizar.

A continuación detallaremos qué tipo de cable se usará y el camino que deberá recorrer.

- 1).- Del generador al banco de baterías se utilizarán dos cables tipo TW del número 12 ya que la corriente será de 13.75 amp.
- 2).- Del banco de baterías al inversor se utilizarán 2 cables TW del No. 10.
- 3).- Del inversor al interruptor de doble tiro se utilizarán dos cables TW del número 10.
- 4).- Del interruptor de doble tiro al interruptor termomagnético de 30 amperes se utilizarán dos cables TW del número 10.

NOTA: De los puntos anteriores, los incisos 2,3 y 4 se tomó cable No. 10 TW ya que la corriente que pasará por estos circuitos será de 25 amp. máximo, y se eligió este cable basándose en la tabla 2.7 del Manual de Instalaciones de Harper.

## AISLANTES.

El tipo de tubería que se utilizará como aislante en la red eléctrica será:

- 1).- Del generador al banco de baterías se utilizará tubo

conduit de 1/2".

- 2).- Del banco de baterías al inversor se utilizará tubo conduit de 1/2".
- 3).- Del inversor al interruptor de doble tiro se utilizará tubo conduit de 1/2".
- 4).- Del interruptor de doble tiro al interruptor termomagnético de 50 A se utilizará tubo conduit de 1/2".

### 3.7. SELECCION DEL TRANSFORMADOR CA/CC ( INVERSOR )

El transformador, también conocido como inversor - es un circuito eléctrico que se usa para convertir voltajes continuos en ondas alternas. Los inversores se usan principalmente para proveer una excitación controlada para los motores de corriente alterna de frecuencia ajustable. El principio fundamental de operación de un inversor es la interrupción periódica de un voltaje continuo - para generar una onda cuadrada. En la mayoría de las - aplicaciones de potencia, los SCR desempeñan la función - del interruptor S operando periódicamente, Fig. A.

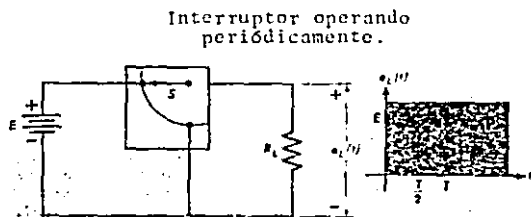


FIGURA A

La frecuencia de la onda cuadrada resultante es - función solamente de la tasa de conmutación, de tal forma que puede variarse la frecuencia ca en la carga. Si se - desea un voltaje sinusoidal puro en la carga, la frecuencia fundamental de la onda cuadrada puede obtenerse mediante un filtro adecuado.

El circuito de la figura B se llama inversor en paralelo conmutado por condensador. Los dos SCRs actúan - como elementos de conmutación y cada uno conduce durante -

una mitad del ciclo permaneciendo bloqueado durante la otra mitad. La función del condensador es mantener un SCR en estado de no conducción mientras el segundo SCR está conduciendo. El inductor L se llama reactor y sirve para aislar los voltajes alternos que la acción del interruptor de la fuente cc genera. Los inversores de este tipo se usan como elementos básicos en muchos sistemas inversores grandes y complejos empleados en la industria.

Para seleccionar el inversor que se acopla a nuestras necesidades, es importante tomar en cuenta lo siguiente:

- a).- La corriente que se manejará será de 25 amperes.
- b).- La transferencia será de 12 Vcd a 127 Vca.

Por lo tanto la potencia mínima del inversor será de

$$25 \text{ amp.} \times 127 \text{ volts} = 3175 \text{ Watts.}$$

El inversor que más se acerca y que existe en el mercado, es de 4000 Watts; por lo tanto aunque está sobrado es el que más se adapta a nuestras necesidades.

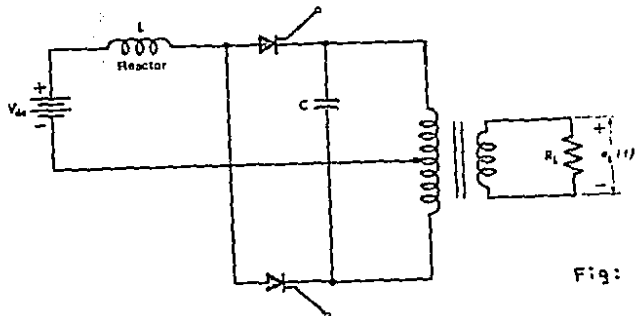


Fig: (B)

## CAPITULO IV

### SELECCION DEL GENERADOR



## 4.1. CUADRO COMPARATIVO DE LOS DISTINTOS GENERADORES.

En la actualidad hay una considerable cantidad de fabricantes de generadores eólicos en todo el mundo, en su mayoría se abocan a diseñar para aplicaciones en el campo de la producción de energía eléctrica, es decir, acoplar un generador eólico a un generador eléctrico, convirtiendo así la energía mecánica en energía eléctrica.

La lista de fabricantes que a continuación muestro, son sólo algunos de los muchos fabricantes de generadores eólicos, que sus esfuerzos están dedicados en el área de la producción de energía eléctrica; muchos otros fabricantes de generadores eólicos dedican sus esfuerzos en otras áreas como lo son para aplicaciones de bombeo.

FABRICANTE	PALAS No.	D(m)	Vel.DISEÑO m/s	GENERADOR ELECTRICO	POTENCIA Kw	CARACTE-- RISTICAS																																							
NORTH WIND POWER Co.	3	5	9.00	Generador de corriente - continua.	2.00	control por orientación del rotor.																																							
	2	10	9.00		6.00		MEURKAM ENER GY DEVELOP- MENT	6	11.2	11.00	Generador - sincrono.	20.00	USO INDUSTRIAL	6	48	13.4	2000.00	NEDCO	3	3.6	9.30	Generador - sincrono.	1.20		3	4.8	2.00	WINDWORKS, INC.	3	10.00	9.30	Generador - sincrono.	10.00	Control de pa- so mec.hidrau.	BERGLEY WIND generator	3	2.50	11.00	DINAMO 12 Volts	1.00		AMERENALT	2	2.40	18.00
MEURKAM ENER GY DEVELOP- MENT	6	11.2	11.00	Generador - sincrono.	20.00	USO INDUSTRIAL																																							
	6	48	13.4		2000.00		NEDCO	3	3.6	9.30	Generador - sincrono.	1.20		3	4.8	2.00	WINDWORKS, INC.	3	10.00	9.30	Generador - sincrono.	10.00	Control de pa- so mec.hidrau.	BERGLEY WIND generator	3	2.50	11.00	DINAMO 12 Volts	1.00		AMERENALT	2	2.40	18.00	Generador sin crono	2.50	Control por - orientación - del rotor.								
NEDCO	3	3.6	9.30	Generador - sincrono.	1.20																																								
	3	4.8			2.00		WINDWORKS, INC.	3	10.00	9.30	Generador - sincrono.	10.00	Control de pa- so mec.hidrau.	BERGLEY WIND generator	3	2.50	11.00	DINAMO 12 Volts	1.00		AMERENALT	2	2.40	18.00	Generador sin crono	2.50	Control por - orientación - del rotor.																		
WINDWORKS, INC.	3	10.00	9.30	Generador - sincrono.	10.00	Control de pa- so mec.hidrau.																																							
BERGLEY WIND generator	3	2.50	11.00	DINAMO 12 Volts	1.00																																								
AMERENALT	2	2.40	18.00	Generador sin crono	2.50	Control por - orientación - del rotor.																																							

FABRICANTE	PALAS No.	D(m)	Vel. DISEÑO m/s	GENERADOR ELECTRICO	POTENCIA Kw.	CARACTE- RISTICAS
MILVILLE WINDMILLS, INC.	3	7.30	11.00	Generador - sincrono.	10.00	
DUNLITE	5	3.60	11.00	DINAMO 12 volts	1.00	
ZEPHIR WIND DYNAMO Co.	1	1.50	11.00	Generador de corriente - continua	0.15	Control por serv.
SENCENBAUGH WIND ELEC-- TRIC.	3	0.5	3.50	Alternador - trifásico	0.024	Alternador , trifásico de baja veloci- dad.
	3	1.80	3.50		0.50	
	3	2.00	3.50		0.50	
	3	3.60	3.50		1.00	
JACOBS	3	7.00	11.00	-	10.00	Control de - paso varia- ble por ac- ción centrífuga.
WINCO WIND CHANGER.	2	1.80	10.00	DINAMO 12 V.	0.20	Control de - paso varia- ble por acc- ción centrífuga.
AEROWATT	2	1.00	7.00	Generador de corriente - continua.	0.03	Control de - paso varia- ble por acc- ción centrífuga.
	2	1.70	7.00		0.20	
	2	3.26	7.00		0.35	
	2	5.00	7.00		1.13	
	2	9.50	7.00		4.10	
DOMION ALUMINIUM DAF.	2	4.50	10.00	Generador de corriente - continua.	2.00	
	2	4.50	10.00		4.00	
	2	6.00	10.00		6.00	
	2	9.10	10.00		8.00	
ELECTRO	2	2.50	8.90	Generador de corriente - continua.	0.60	
	2	3.00	10.00		1.20	
	2	3.50	9.80		1.80	
	2	3.80	10.00		2.50	
	2	4.40	10.50		4.00	
	2	5.40	11.00		6.00	

#### 4.2. SELECCION DEL GENERADOR.

Una adecuada selección del generador dependerá de un buen estudio previo, para obtener el máximo provecho a nuestro sistema. El generador no deberá estar limitado ni tampoco deberá estar demasiado sobrado, ya que si es de menor capacidad, no cumplirá con las necesidades de diseño, y si es demasiado sobrado, repercutirá en el costo de adquisición.

Como hemos visto en el capítulo anterior, nuestras necesidades son:

Vel. de viento	= 7.8 m/s
Voltaje	= 12 V.
Corriente	= 13.75 A.
Potencia	= 165 W ó 0.165 Kw.

A continuación observamos la tabla de fabricantes que se muestra en el inciso anterior; tenemos que el fabricante que más se adapta a nuestras necesidades es la Fábrica AEROWATT de FRANCIA con un generador que trabaja con vientos de diseño del orden de 7 m/s, que tiene una potencia de 0.20 Kw y que genera corriente continua.

El hecho que el generador tenga una velocidad de diseño de 7 m/s y que la velocidad media del lugar de emplazamiento sea de 7.8 m/s, no es de preocupación, ya que el generador eólico cuenta con un mecanismo de control que hace variar el paso de la corriente del aire, manteniendo las condiciones óptimas. A este mecanismo se le conoce como: Mecanismo de control de paso variable por acción centrífuga. En el inciso siguiente comentaremos este tipo de mecanismo.

#### 4.3. DATOS TECNICOS.

El generador elegido tiene las siguientes características:

No. de palas	2
Diámetro del rotor	1.70 mts.
Velocidad de diseño del viento	7.00 m/s
Generador de corriente continua	
Potencia	0.20 Kw.
Control de paso variable por acción centrífuga.	

Observando la Figura 15 del capítulo 2, nuestra torre deberá tener una altura de 13.00 mts. La velocidad de diseño del viento de esta tabla, es de 7.5 m/s no afectando grandemente que la velocidad del viento en el lugar del emplazamiento sea de 7.8 m/s ya que el generador cuenta con reguladores de paso de corriente de aire.

El generador eólico cuenta como ya lo hemos dicho, con un mecanismo que hace variar el ángulo de ataque de las palas manteniendo en lo posible las condiciones óptimas; a este mecanismo se le conoce como mecanismo de control de paso variable por acción centrífuga.

La fábrica AEROWATT tiene en sus generadores eólicos este tipo de control de velocidad y funciona de la siguiente manera: El mecanismo trabaja en la etapa de puesta en marcha y en la de exceso de potencia. Lleva dos muelles distintos: el primero actúa para ajustar el

ángulo de calaje de la pala en los niveles de baja potencia de la puesta en marcha, y el segundo para mantener la velocidad de régimen con vientos superiores al de diseño. Una particularidad de este sistema de regulación es que para condiciones de viento fuerte las palas no se disponen en posición de bandera, sino planas frente al viento, teniendo que soportar elevadas fuerzas de empuje. La casa AEROWATT garantiza que las características estructurales de sus palas les permite soportar vientos de hasta 260 Km/h.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

## CONCLUSIONES

Desde épocas remotas, la fuerza del viento ha sido utilizada como fuente de energía para usos muy diversos . Hoy en día la energía obtenida del viento es muy poca comparada con la energía obtenida por otras fuentes; sin embargo la energía eólica presenta buenas características - de aprovechamiento en una escala mayor, ya que es muy -- atractivo obtener energía de una fuente gratuita.

Los avances a este respecto son muy alentadores y no dudo que en un mediano plazo, con mejoras tecnológicas y fabricación en serie, se lleven a cabo importantes desarrollos eólicos en el campo de la producción de energía - eléctrica (que es donde mayores aplicaciones tiene).

Por lo pronto en la actualidad el mayor aprovechamiento se está realizando en el campo de la baja potencia y también para usos muy específicos, que es donde las compañías fabricantes tienen por ahora puestos sus esfuerzos.

El diseño que presento no es muy atractivo desde - el punto de vista económico, ya que la mayoría de los elementos son de tecnología extranjera y tendrán que ser importados, haciendo que los costos sean muy elevados; también es incosteable ya que existen en la actualidad otros tipos de sistemas de conversión y almacenamiento mucho - más económicos y más versátiles. Sin embargo el hecho de hacer este trabajo representa una posible base para otros diseños con características similares y más costeables, - así como para despertar la inquietud en este campo, de futuras generaciones que en determinado momento pudieran tener esta TESIS en las manos.

## BIBLIOGRAFIA.

MANUAL DE INSTALACIONES ELECTRICAS RESIDENCIALES E INDUSTRIALES.

AUTOR: ENRIQUEZ HARPER  
EDITORIAL: LIMUSA  
TERCERA EDICION.

ELECTRICAL ENGINEERING.

AUTOR: S.B. HAMMOND.  
EDITORIAL: MCGRAW HILL NOVARO.  
PRIMERA EDICION.

MAQUINAS ELECTRICAS Y ELECTROMECHANICAS

SERIE SCHAUM  
AUTOR: SYED A. NASAR.  
EDITORIAL: MCGRAW HILL

CIRCUITOS ELECTRICOS

SERIE SCHAUM  
AUTOR: JOSEPH A. EDMINISTER.  
EDITORIAL: MCGRAW HILL

MECANICA DE LOS FLUIDOS E HIDRAULICA

SERIE SCHAUM  
AUTOR: RONALD V. GILES.  
EDITORIAL: MCGRAW HILL

Datos proporcionados por las embajadas de E.E.U.U., HOLANDA y las empresas C.F.E y EXIDE DE MEXICO, S.A.